



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---

**Vinicius Giroto Santilli**

**PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO  
EM MUNICÍPIO ATINGIDO POR BARRAGEM  
UM ESPAÇO EDUCACIONAL- CULTURAL NO PROCESSO DE  
REPARAÇÃO NO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA/MG**

Ouro Preto

2020

PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO EM MUNICÍPIO  
ATINGIDO POR BARRAGEM

UM ESPAÇO EDUCACIONAL- CULTURAL NO PROCESSO DE REPARAÇÃO NO  
MUNICÍPIO DE BARRA LONGA/MG

Vinicius Giroto Santilli

Monografia de conclusão de curso para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil na  
Universidade Federal de Ouro Preto  
defendida e aprovada em 18 de dezembro  
de 2020 como parte dos requisitos para a  
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.  
Banca examinadora:

Área de concentração: Materiais de Construção  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dulce Maria Pereira - UFOP

Ouro Preto  
2020

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S235p Santilli, Vinicius Giroto .  
Planejamento sustentável e bioconstrução em município atingido por barragem. Um espaço educacional-cultural no processo de reparação no município de Barra Longa, MG. [manuscrito] / Vinicius Giroto Santilli. - 2020.  
186 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Dulce Maria Pereira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Meio ambiente - Ecocídio. 2. Edificações sustentáveis. 3. Escolas sustentáveis. I. Pereira, Dulce Maria. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO EM MUNICÍPIO  
ATINGIDO POR BARRAGEM  
UM ESPAÇO EDUCACIONAL- CULTURAL NO PROCESSO DE REPARAÇÃO NO  
MUNICÍPIO DE BARRA LONGA/MG

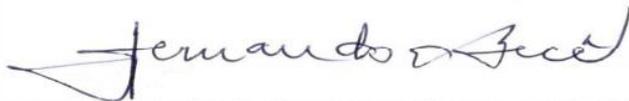
Vinicius Giroto Santilli

Monografia de conclusão de curso  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Civil na Universidade Federal de  
Ouro Preto defendida e aprovada em  
18 de dezembro de 2020 como parte  
dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Engenheiro Civil. Banca  
examinadora:



---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dulce Maria Pereira - UFOP



---

Membro: Prof. Fernando Antônio Borges Campos – UFOP



---

Membro: Prof.<sup>a</sup> Irce Fernandes Gomes Guimarães - UFOP



---

Membro: Prof. Paulo de Castro Vieira - UFOP

---

Membro: Simone Silva – Atingida originária de Gesteira/Barra Longa- MG



---

Membro: Profa. Suzy Freitas – Pesquisadora independente

*Do nosso divórcio das integrações e interações com a nossa mãe, a Terra, resulta que ela está nos deixando órfãos, não só aos que em diferente graduação são chamados de índios, indígenas ou povos indígenas, mas a todos.*

*(Ailton Krenak)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente minha família, em especial, meus pais e meu irmão que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e me permitiram morar relativamente longe da família. Ainda, ter o privilégio de viver em Ouro Preto, cidade que é uma pintura viva, à qual também agradeço por me receber de portas abertas. Agradeço aos amigos e amigas que fiz aqui, que me ajudaram tanto a crescer. Foi lindo e carregarei todos e todas no coração para a minha vida inteira.

Agradeço ao ensino público de qualidade, em especial, à Universidade Federal de Ouro Preto e à Escola de Minas, base material para crescimento científico e humano. A todos os professores, técnicos, terceirizados e todas as pessoas que, da sua forma, colaboram na manutenção e funcionamento da Universidade.

Agradeço à República dos Deuses, Tina Vicente, moradores e ex-alunos, minha segunda casa e família em Ouro Preto. Nada na vida se faz sozinho e a República me mostrou isso da forma mais linda e orgânica possível.

Agradeço à minha orientadora, Prof.<sup>a</sup>. Dulce Maria Pereira, por todo conhecimento compartilhado e pela amizade que construímos, por acreditar e confiar em mim, e também pelas palavras motivadoras, sempre engrandecedoras. Agradeço também ao Laboratório de Educação Ambiental e Pesquisa (LEA:AUEPAS), por me receber com grande carinho.

Agradeço aos moradores de Barra Longa e da comunidade de Gesteira pela recepção e confiança. O carinho e a atenção acalmaram meu coração e espero poder contribuir para a devida reparação integral da comunidade. Agradecimento especial à Simone Silva.

Todos aqui mencionadas colaboraram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente. Foi um processo incrível, mesmo que tenha demandado muito de mim, e o mínimo que posso fazer é agradecer.

## RESUMO

Epistemicídio, segundo o filósofo sulafricano, Mogobe Ramose, é “o assassinato das maneiras de conhecer e agir dos povos”. E ecocídio é a destruição em grande escala ou sobre-exploração de recursos não renováveis. Diante dos grandes empreendimentos, é possível enxergar essas duas formas de extermínio destruindo a fauna e a flora das regiões, causando um desequilíbrio de ecossistemas, e a perda de territórios e dos estilos de vida das comunidades. São consequências da necroengenharia, que desconsidera os princípios da ética da responsabilidade. O projeto é uma edificação educacional-cultural, inteligente, auto suficiente, em contribuição ao processo de reparação pelas perdas materiais e imateriais da comunidade atingida pela Barragem de Fundão, da Samarco, Vale e BHP Billiton em 2015. O distrito Gesteira fica no município de Barra Longa (MG), às margens do Rio Gualaxo do Norte. O projeto organiza-se nas seguintes etapas: escuta à comunidade, conhecimento do local, estudo do local, definição do espaço, da estrutura, das tecnologias e ecotécnicas a serem utilizadas. A escuta é constante em todas as etapas, incluindo reuniões com a comissão de atingidos, a Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social e o Movimento de Atingidos por Barragem. Estudos foram realizados in loco e remotamente para o planejamento e caracterização do espaço, e definição dos materiais. Para a estrutura, definiu-se o método de bioconstrução em COB (mescla de argila, areia e fibras vegetais, além do bambu). As tecnologias e ecotécnicas foram adotadas a fim de reduzir os impactos gerados ao longo da vida útil da edificação, das atividades e necessidades humanas, com referência à memória construtiva da comunidade. Barreiras para a prevenção ao COVID-19 foram adaptadas. O produto aplica sabedorias locais e é universal, valorizando a conservação ambiental, o encontro de saberes e propõe adequação tecnológica contemporânea.

Palavras-chaves: Atingidos por barragem 1, Bioconstrução 2, Ecocídio 3, Edificações Sustentáveis 4, Escolas sustentáveis 5

## ABSTRACT

Epistemicide, according to the South African philosopher, Mogobe Ramose, is "the murder of the ways of knowing and acting of the people" (2011, p. 9). And ecocide is the large-scale destruction or over-exploitation of nonrenewable resources. Considering large enterprises, it is possible to see these two forms of extermination destroying the fauna and flora of areas, causing an imbalance of ecosystems, and the loss of community's territory and lifestyle. These are the consequences of necro-engineering (PEREIRA, 2019); a practice of engineering that overlooks the principles of the ethic of responsibility. The project consists of an educational-cultural intelligent self-sufficient building, contributing to the process of repairing the material and immaterial losses of the community affected by the Fundão Dam from Samarco, Vale and BHP Billiton in 2015. The district Gesteira is located in the city of Barra Longa (MG), on the banks of the Gualaxo do Norte River. The project is organized in the following stages: listening to the community, getting to know the site, studying the site, defining the space, the structure, the technologies and eco-techniques to be used. The listening to the community is constant in all stages, including meetings with the affected people's commission, the Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social and the Movimento de Atingidos por Barragem. Studies were carried out on site and remotely to plan and characterize the space, and to define the building materials. For the structure, we chose the bioconstruction method in COB (mixture of clay, sand, vegetable fibers and bamboo). The technologies and eco-techniques were employed in order to reduce the impacts caused throughout the building's service life, the human activities and needs, with reference to the community's constructive memory. Barriers to prevent COVID-19 were adapted. The product applies local knowledge and is universal, valuing the environmental conservation, the articulation of different fields of knowledge and proposes contemporary technological adequacy.

Key-words: Affected by dam 1; Bioconstruction 2; Ecocide 3; Sustainable Buildings 4; Sustainable Schools 5.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PREMISSAS PARA A SUSTENTABILIDADE (FONTE: PEREIRA, D. M.; LEA:AUEPAS/DEPRO-DEGEP/UFOP) .....	5
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DE GESTEIRA, DISTRITO DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA, LOCAL DE APLICAÇÃO DO TRABALHO. ACIMA A LOCALIZAÇÃO EM RELAÇÃO AO TERRITÓRIO BRASILEIRO E MINAS GERAIS (FONTE: ABREU, 2006), E, ABAIXO, O DISTRITO EM RELAÇÃO AO MUNICÍPIO (FONTE: MODIFICADO DO GOOGLE MAPS) .....	8
FIGURA 3 – LEGENDA REFERENTE AO MAPA DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. INDICA OS TIPOS DE SOLOS AO LONGO DO ESTADO (MODIFICADO DE: UFV; CETEC; UFL; FEAM, 2010) .....	10
FIGURA 4 - FRAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS QUE CONTÉM O MUNICÍPIO DE BARRA LONGA (FONTE: UFV, CETEC; UFL; FEAM, 2010) .....	10
FIGURA 5 – ZOOM DO MAPA DE SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS INDICANDO O RIO GUALAXO DO NORTE, LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DE GESTEIRA, DISTRITO DE BARRA LONGA (MODIFICADO DE UFV; CETEC; UFL; FEAM, 2010) .....	11
FIGURA 6 - VILA E IGREJA EM GESTEIRA, NA ZONA RURAL DE BARRA LONGA (MG), SOB A LAMA APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO. APÓS O NÍVEL DO RIO DESCER, A MARCA DE LAMA PODE VISTA NO ALTO DA FACHADA DA CAPELA NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO. À DIREITA DA CAPELA ESTÁ A ANTIGA ESCOLA DA COMUNIDADE (FOTO: FÁBIO TITO/G1) .....	13
FIGURA 7 – ESQUEMA DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO, INDICANDO A PRIMEIRA LOCALIDADE ATINGIDA, BENTO RODRIGUES. ABAIXO, A TRAJETÓRIA DA LAMA AO LONGO DA BACIA DO RIO DOCE ATÉ O ENCONTRO COM O OCEANO ATLÂNTICO (FONTE: FOLHA DE SÃO PAULO) .....	15
FIGURA 8 – MAPA DA PERSPECTIVA SOBRE O RACISMO AMBIENTAL NA REGIÃO DE MARIANA E BARRA LONGA, INDICANDO QUE A POPULAÇÃO ATINGIDA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM É MAJORITARIAMENTE NEGRA (FONTE: PEREIRA, 2019). .....	16
FIGURA 9 – MAPA COM OS LOCAIS UTILIZADOS PARA O MANEJO DO REJEITO. AS LINHAS EM AMARELO INDICAM O TRAJETO DOS CAMINHÕES. NOTA-SE QUE O REJEITO FOI TRANSPORTADO POR LOCAIS ONDE NÃO HAVIA CHEGADO, CONTAMINANDO OUTRAS REGIÕES (FONTE: PEREIRA, 2019) .....	17
FIGURA 10 – MAPA COM A ÁREA ATINGIDAS PELA LAMA DE REJEITOS EM GESTEIRA. NO DISTRITO, NOTA-SE QUE A LAMA ATINGIU AS APPS COM CURSO D`ÁGUA DE LARGURA ATÉ 10 METROS. (FONTE: PEREIRA,2019) .....	19
FIGURA 11 – MAPA COM OS PONTOS DAS NASCENTES ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM. NO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA, 18 NASCENTES FORAM AFETADAS (FONTE: PEREIRA, 2019) .....	20
FIGURA 12 – MAPA COM RIQUEZA MINERAL NO SUBSOLO DA BACIA DO RIO DO CARMO. O ESTUDO INDICA O INTERESSE DAS MINERADORAS PELA EXPLORAÇÃO DESSAS REGIÕES. NOTA-SE QUE, PRÓXIMO À LOCALIDADE DE GESTEIRA, O SUBSOLO É RICO EM OURO (FONTE: AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2018) .....	21
FIGURA 13 – TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO EM TERRA (FONTE: SANTOS, 2015 ADAPTADO DE HOUBEN E GUILLARD, 1989) .....	24
FIGURA 14 – EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO EM COB, LOCALIZADA NO CANADÁ (DISPONÍVEL EM: < <a href="https://dicasdearquitetura.com.br/cob-casas-esculpidas-com-terra/">HTTPS://DICASDEARQUITETURA.COM.BR/COB-CASAS-ESCULPIDAS-COM-TERRA/</a> > ACESSO EM AGO. 2019) .....	25
FIGURA 15 – ETAPAS DO TESTE PARA AVALIAR A ADESÃO DA PORÇÃO DE SOLO. TRATA-SE DE UM TESTE TÁTIL-VISUAL. (FONTE: AUTOR) .....	28

FIGURA 16 – À ESQUERDA, O EXEMPLO DA IMAGEM FINAL APÓS O PROCESSO DE SEDIMENTAÇÃO. AS PARTÍCULAS MAIORES (AREIA) DEPOSITAM-SE NO FUNDO DO RECIPIENTE, E AS MENORES (SILTE E ARGILA), EM CAMADAS SUPERIORES. À DIREITA ESTÃO REPRESENTADOS OS CÁLCULOS DAS PROPORÇÕES DAS PARTÍCULAS EM FUNÇÃO DA ALTURA DAS CAMADAS. (FONTE: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009).....	32
FIGURA 17 – DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS PELO TESTE DO VIDRO EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO DE ARGILA, SILTE E AREIA (FONTE: (ADAPTADO DE AID AT AL (S/D) E MORAN, 1984).....	32
FIGURA 18 – GARRAFAS DE VIDRO UTILIZADAS EM PAREDES DE COB PARA DECORAÇÃO E PONTOS DE ILUMINAÇÃO (DISPONÍVEL EM < <a href="http://www.sustentaacoes.com/2016/02/vamos-construir-um-mundo-melhor.html">HTTP://WWW.SUSTENTAACOES.COM/2016/02/VAMOS-CONSTRUIR-UM-MUNDO-MELHOR.HTML</a> > ACESSO EM AGO. 2019).....	34
FIGURA 19 – DETALHE DAS AMARRAÇÕES DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU (FONTE: DULKELBERG, 1996) .....	39
FIGURA 20 – SISTEMA DE APOIO COM INCORPORAÇÃO DO PILAR DE BAMBU À SAPATA DE CONCRETO (FONTE: MARÇAL, 2008).....	40
FIGURA 21 – GEOMETRIA DA PAREDE DE COB. NOTA-SE A GEOMETRIA TRAPEZODAL. NOTA-SE O INÍCIO DA PAREDE ACIMA DO NÍVEL, EVITANDO INFILTRAÇÃO PELO SOLO. NA FIGURA, A FUNDAÇÃO REPRESENTADA É COMPOSTA POR ROCHAS (FONTE: AUTOR).....	41
FIGURA 22 – ESQUEMA DAS CONSIDERAÇÕES PARA A FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS EM COB. ALÉM DA NECESSIDADE DE DRENO NAS PERIFERIAS DAS PAREDES, MESCLA DE ADESÃO ENTRE FUNDAÇÃO E PAREDE E ALTURAS DAS CAMADAS. (FONTE: AUTOR) .....	43
FIGURA 23 – ESQUEMA DE TELHADO VERDE, TÉCNICA QUE AJUDA NO AUMENTO DAS ÁREAS PERMEÁVEIS E REDUÇÃO DAS ILHAS DE CALOR (DISPONÍVEL EM < <a href="https://www.inovagreen.com.br/telhadoverde.html">HTTPS://WWW.INOVAGREEN.COM.BR/TELHADOVERDE.HTML</a> > ACESSO EM SET. 2019).....	54
FIGURA 24 – ESQUEMA DAS CAMADAS COMPONENTES DO TELHADO VERDE (DISPONÍVEL EM < <a href="https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/">HTTPS://WWW.TUACASA.COM.BR/TELHADO-VERDE/</a> > ACESSO EM SET. 2019) .....	56
FIGURA 25 – ESQUEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS. A ÁGUA COLETADA PELA SUPERFÍCIE (TELHADO) É DIRECIONADA, POR CONDUTORES, ATÉ O LOCAL DE ARMAZENAMENTO (CISTERNA). NA FIGURA, ESTÃO INDICADOS ALGUNS USOS POSSÍVEIS DESSAS ÁGUAS (FINS NÃO POTÁVEIS) (DISPONÍVEL EM < <a href="http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm">HTTP://WWW.SEMPRESUSTENTAVEL.COM.BR/HIDRICA/AGUADECHUVA/AGUA-DE-CHUVA.HTM</a> > ACESSO EM SET. 2019).....	57
FIGURA 26 – ESQUEMA DE BIODIGESTOR DO TIPO INDIANO (FONTE:.....)	61
FIGURA 27 – ESQUEMA DE BIODIGESTOR DO TIPO CHINÊS (FONTE:.....)	62
FIGURA 28 – ESQUEMA DO BIOSISTEMA. INDICAÇÃO DAS ETAPAS E RESUMO DOS PROCESSOS (FONTE: PEREIRA, 2015).....	64
FIGURA 29 – ESQUEMA SISTEMA FOTOVOLTAICO (FONTE: BRITO & SILVA, 2006).....	66
FIGURA 30 – CASA DA CASCATA: PROJETO DO ARQUITETO FRANK LLOYD WRIGHT, DESENHADO EM 1934 E CONSTRUÍDO EM 1936. PROJETO DENTRO DOS PRINCÍPIOS DA ORGANICIDADE, UMA VEZ QUE A ESTÉTICA COEXISTE COM A NATUREZA (DISPONÍVEL EM: < <a href="https://thonilitsz.arq.br/casa-da-cascata-projeto-do-arquiteto-frank-lloyd-wright/">HTTPS://THONILITSZ.ARQ.BR/CASA-DA-CASCATA-PROJETO-DO-ARQUITETO-FRANK-LLOYD-WRIGHT/</a> > ACESSO EM SET. 2019).....	67
FIGURA 31 – HUNDERTWASSER HOUSE, EM VIENA, NA ÁUSTRIA. PROJETO DO ARTISTA E ARQUITETO, FRIEDENSREICH HUNDERTWASSER. (FONTE: CARMEN NEUMEIER, 2016).....	69
FIGURA 32 – ESCOLA JAUREGUIBERRY, NO URUGUAI, DESENVOLVIDA PELO ARQUITETO MICHAEL REYNOLDS (DISPONÍVEL EM < <a href="https://casacor.abril.com.br/sustentabilidade/uruguai-inaugura-a-primeira-escola-publica-completamente-sustentavel/">HTTPS://CASACOR.ABRIL.COM.BR/SUSTENTABILIDADE/URUGUAI-INAUGURA-A-PRIMEIRA-ESCOLA-PUBLICA-COMPLETAMENTE-SUSTENTAVEL/</a> > ACESSO EM SET. 2019).....	75
FIGURA 33 – NA PARTE SUPERIOR TEM-SE O CORTE TRANSVERSAL DA ESTRUTURA. NOTA-SE A REPRESENTAÇÃO DE ALGUNS MATERIAIS REICLÁVEIS (PNEUS) COMENDO A ESTRUTURA, ALÉM DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS. ABAIXO, A VISTA LONGITUDINAL. É POSSÍVEL NOTAR A REPRESENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. (DISPONÍVEL EM	

< <a href="https://www.archdaily.com.br/br/791524/conheca-a-escola-sustentavel-de-michael-reynolds-em-jaureguiberry-uruguai/57645EEAE58ECEF4160000E?NEXT_PROJECT=NO">HTTPS://WWW.ARCHDAILY.COM.BR/BR/791524/CONHECA-A-ESCOLA-SUSTENTAVEL-DE-MICHAEL-REYNOLDS-EM-JAUREGUIBERRY-URUGUAI/57645EEAE58ECEF4160000E?NEXT_PROJECT=NO</a> > ACESSO EM NOV. 2019.....	76
FIGURA 34 – LOCAL EXATO DE APLICAÇÃO DO PROJETO. AO FUNDO, A CAPELA DE NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO, CONSTRUÍDA EM 1891. AO LADO DA CAPELA, A ANTIGA ESCOLA COMUNITÁRIA EM RUÍNAS. NOTA-SE QUE O NÍVEL DO SOLO SE ENCONTRA ACIMA DO NORMAL, UMA VEZ QUE AS ABERTURAS (PORTAS E JANELAS) ESTÃO IMPEDIDAS (DISPONÍVEL EM	
< <a href="https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-11/vilarejos-para-reassentar-vitimas-da-tragedia-de-mariana-nao-sairam-do-papel">HTTPS://AGENCIABRASIL.EBC.COM.BR/GERAL/NOTICIA/2017-11/VILAREJOS-PARA-REASSENTAR-VITIMAS-DA-TRAGEDIA-DE-MARIANA-NAO-SAIRAM-DO-PAPEL</a> > ACESSO EM SET. 2019) .....	79
FIGURA 35 – LOCALIZAÇÃO EXATA DO PROJETO EM GESTEIRA, NA ANTIGA ESCOLA DA COMUNIDADE. EM VERMELHO ESTÁ DELIMITADA A ÁREA DO TERRENO CONSIDERADA PARA O NOVO ESPAÇO. EM BRANCO, A DELIMITAÇÃO DA ÁREA CONSTRUÍDA DA ANTIGA ESCOLA. (FONTE: MODIFICADA DO GOOGLE MAPS PELO AUTOR) .....	80
FIGURA 36 - ÁREA DE COLETA DO SOLO (EM AZUL), ACIMA DA REGIÃO ATINGIDA DIRETAMENTE PELA LAMA DE REJEITOS (EM VERMELHO) (FONTE: MODIFICADO DO GOOGLE MAPS PELO AUTOR) .....	82
FIGURA 37 – CARTA BIOCLIMÁTICA ADOTADA PARA O BRASIL. ATRAVÉS DAS QUATRO INFORMAÇÕES (UMIDADE RELATIVA, TBU, TBS E RAZÃO DE UMIDADE) DA REGIÃO, DEFINE-SE SUA ZONA BIOCLIMÁTICA (FONTE: LAMBERTS ET AL, 2004, P. 105).....	85
FIGURA 38 – SOBREPOSIÇÃO DO MAPA DA ZONA BIOCLIMÁTICA 3 (ABNT, 2003) COM O MAPA DO BRASIL INDICANDO A POSIÇÃO DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA (CAPTURA DE TELA DO GOOGLE MAPS).....	86
FIGURA 39 – ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICA BRASILEIRO (FONTE: ABNT ,2003) .....	86
FIGURA 40 – SOBREPOSIÇÃO DO MAPA DA LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA EM MINAS GERAIS COM O MAPA DA ROSA-DOS-VENTOS ANUAL. LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DO MUNICÍPIO INDICADA NO MAPA DOS VENTOS (FONTE: MODIFICADO DE CEMIG, 2010).....	88
FIGURA 41 – ZOOM NA ROSA DOS VENTOS DE DIREÇÃO MAIS PRÓXIMA AO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA. A REPRESENTAÇÃO DA ROSA NÃO É EXATA E FOI DESENHADA POR OBSERVAÇÃO, INDICANDO AS DIREÇÕES COM MAIORES FREQUÊNCIAS (FONTE: MODIFICADO DE CEMIG, 2010).....	89
FIGURA 42 - ZOOM NA ROSA DOS VENTOS DE VELOCIDADE MAIS PRÓXIMA AO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA. A REPRESENTAÇÃO DA ROSA NÃO É EXATA E FOI DESENHADA POR OBSERVAÇÃO, INDICANDO AS VELOCIDADES APROXIMADAS (FONTE: MODIFICADO DE CEMIG, 2010) .....	90
FIGURA 43 – ESBOÇO DO TERRENO DE APLICAÇÃO DO PROJETO COM INDICAÇÃO DO NORTE GEOGRÁFICO (FONTE: AUTOR) .....	91
FIGURA 44 – ORIENTAÇÃO SOLAR NA EDIFICAÇÃO DE ACORDO COM AS ESTAÇÕES DO ANO, VERÃO E INVERNO. (DISPONÍVEL EM < <a href="https://imagens-revista-pro.vivadeccora.com.br/uploads/2018/07/orientacao-solar-arquitetura-posicao-do-sol-de-acordo-com-as-estacoes.png">HTTPS://IMAGENS-REVISTA-PRO.VIVADECCORA.COM.BR/UPLOADS/2018/07/ORIENTACAO-SOLAR-ARQUITETURA-POSICAO-DO-SOL-DE-ACORDO-COM-AS-ESTACOES.PNG</a> > ACESSO EM JUNHO DE 2020.) .....	91
FIGURA 45 – GEOMETRIA DA SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO COM DIMENSÕES EM METROS. ACIMA ESTA O ESBOÇO DO CORTE TRANSVERSAL DO TELHADO E ABAIXO, A VISTA EM PLANTA. NOTA-SE QUE O DIRECIONAMENTO DAS ABAS COINCIDE EM UMA MESMA CALHA, LOGO ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO SERÁ A SOMA DAS ÁREAS A1 E A2. (FONTE: AUTOR) .....	95
FIGURA 46 – CÁLCULO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DE COLETA DE ÁGUA DA CHUVA PARA SUPERFÍCIES INCLINADAS (FONTE: ABNT, 1989).....	95
FIGURA 47 – ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DOS CONDUTORES VERTICAIS PARA CALHAS COM SAÍDA COM FUNIL. NOTA-SE A ENTRADA DOS VALORES DE Q, H E L PARA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO. (FONTE: MODIFICADO DE ABNT, 1989) .....	98

FIGURA 48 – CAIXA D'ÁGUA AQUALIMP 6000L (DISPONÍVEL EM < <a href="https://www.acqualimp.com/produto/tanques-acqualimp/">HTTPS://WWW.ACQUALIMP.COM/PRODUTO/TANQUES-ACQUALIMP/</a> > ACESSO MAR 2020) .....	102
FIGURA 49 – MAPA DA MÉDIA ANUAL DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA NO BRASIL (FONTE: MODIFICADO DE CRESESB, 2000) .....	106
FIGURA 50 – LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO. A LINHA EM VERMELHO INDICA A TRILHA DE ACESSO (FONTE: MODIFICADO DO GOOGLE MAPS) .....	154
FIGURA 51 – POSIÇÃO DE INSTALAÇÃO DO INVERSOR (FONTE: AUTOR) .....	155
FIGURA 52 – EXEMPLO DE SEÇÃO TRANSVERSAL COMPOSTA DE ELEMENTO ESTRUTURAL DE BAMBU (FONTE: G-NRS-10, 2010) ..	111
FIGURA 53 – SEÇÕES TRANSVERSAIS CONSIDERADAS NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO (FONTE: AUTOR) .....	115
FIGURA 54 – MAPA DE ISOPLETAS DA VELOCIDADE BÁSICA $V_0$ , EM M/S. $V_0$ É MÁXIMA VELOCIDADE MÉDIA MEDIDA SOBRE 3 S, QUE PODE SER EXCEDIDA EM MÉDIA UMA VEZ EM 50 ANOS, A 10 M SOBRE O NÍVEL DO TERRENO EM LUGAR ABERTO E PLANO (FONTE: NBR 6123/1988) .....	117
FIGURA 55 – ESQUEMA DA ATUAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA NA PLANTA, PARA VENTO INCIDINDO A 0 E 90 GRAUS (FONTE: NBR 2123:1988) .....	119
FIGURA 56 – COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA, EXTERNOS, PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS, SIMÉTRICOS, EM EDIFICAÇÃO DE PLANTA RETANGULAR (MODIFICADO DE NBR 2123:1988) .....	120
FIGURA 57 - ESQUEMA DA ATUAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA NA COBERTURA (FONTE: NBR 2123:1988).....	121
FIGURA 58 – RESUMO DA AÇÃO DO VENTO NA ESTRUTURA (FONTE: AUTOR).....	122
FIGURA 59 – LOCAÇÃO DOS PILARES VERTICAIS DO ESPAÇO EDUCACIONAL. AS DISTANCIAS DA FIGURA ESTÃO EM METROS (FONTE: AUTOR).....	124
FIGURA 60 – PÓRTICO DO ESPAÇO EDUCACIONAL EM 3D (FONTE: AUTOR) .....	125
FIGURA 61 – VISTA FRONTAL DO PÓRTICO ESTRUTURAL. NOTA-SE QUE É COMPOSTA POR DUAS ESTRUTURAS ISOLADAS. (FONTE: AUTOR).....	126
FIGURA 62 – DIVISÃO DAS ABAS DOS TELHADOS. MEDIDAS EM METROS (FONTE: AUTOR).....	127
FIGURA 63 – ESTRUTURA QUE SUPORTARÁ O TELHADO DO LADO MOLHADO. CONSIDERAÇÃO DO PESO DO TELHADO COMO SENDO ANÁLOGO À ATUAÇÃO DAS LAJES NAS VIGAS. NO CANTO SUPERIOR ESQUERDO ESTÁ A VISTA AÉREA DO PÓRTICO. ABAIXO ESTÁ A VISTA FRONTAL E AO LADO A VISTA EM 3D (FONTE: AUTOR) .....	128
FIGURA 64 – APLICAÇÃO DOS PROCESSOS DE ÁREAS DE INFLUÊNCIA. A INCLINAÇÃO DAS RETAS A PARTIR DOS VÉRTICES DEPENDE OS TIPOS DE APOIOS (FONTE: NBR 6118:2001).....	129
FIGURA 65 – LIMITE DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA PARA A ESTRUTURA DO LADO MOLHADO (FONTE: AUTOR) .....	130
FIGURA 66 – ÁREAS DE INFLUÊNCIA PARA CADA VIGA. À ESQUERDA, AS VIGAS RECEBEM OS TELHADOS MAIS BAIXOS ( $A1^{leil}$ E $A3$ ) E À DIREITA, O DETALHE DAS VIGAS QUE SUPORTAM O TELHADO MAIS ALTO ( $A2$ ) (FONTE: AUTOR) .....	131
FIGURA 67 - ESTRUTURA QUE SUPORTARÁ O TELHADO DO LADO SECO. CONSIDERAÇÃO DO PESO DO TELHADO COMO SENDO ANÁLOGO À ATUAÇÃO DAS LAJES NAS VIGAS. NO CANTO SUPERIOR ESQUERDO ESTÁ A VISTA AÉREA DO PÓRTICO. ABAIXO ESTÁ A VISTA FRONTAL E AO LADO A VISTA EM 3D (FONTE: AUTOR) .....	133
FIGURA 68 - LIMITE DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA PARA A ESTRUTURA DO LADO SECO (FONTE: AUTOR) .....	134
FIGURA 69 - ÁREAS DE INFLUÊNCIA PARA CADA VIGA (FONTE: AUTOR) .....	134

FIGURA 70 – INDICAÇÃO DOS PÓRTICOS 2D NO COMPRIMENTO (6 PÓRTICOS) E LARGURA (4 PÓRTICOS) DA PLANTA. CONSIDEROU-SE A EXISTÊNCIA DE PAREDES EM TODO O PERÍMETRO DA EDIFICAÇÃO. (FONTE: AUTOR) .....	137
FIGURA 71 – PÓRTICO ESTRUTURAL E DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR NA VIGA MAIS SOLICITADA, EXTRAÍDO DO SOFTWARE MASTAN 2 (FONTE: AUTOR) .....	139
FIGURA 72 - PÓRTICO ESTRUTURAL E DIAGRAMA DE ESFORÇO CORTANTE NA VIGA MAIS SOLICITADA, EXTRAÍDO DO SOFTWARE MASTAN 2 (FONTE: AUTOR) .....	141
FIGURA 73 - PÓRTICO ESTRUTURAL E DIAGRAMA DE ESFORÇO NORMAL NA COLUNA MAIS SOLICITADA, EXTRAÍDO DO SOFTWARE MASTAN 2 (FONTE: AUTOR) .....	143
FIGURA 74 - PÓRTICO ESTRUTURAL E DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR NA COLUNA MAIS SOLICITADA, EXTRAÍDO DO SOFTWARE MASTAN 2 (FONTE: AUTOR) .....	145
FIGURA 75 – LAYOUT DA PLANTA BAIXA DO ESPAÇO EDUCACIONAL-CULTURAL (FONTE: AUTOR) .....	148
FIGURA 76 – POSICIONAMENTO DOS CORTE NO LAYOUT DA PLANTA BAIXA (FONTE: AUTOR) .....	149
FIGURA 77 – DE CIMA PARA BAIXO, FACHADA E CORTES, RESPECTIVAMENTE (FONTE: AUTOR) .....	150
FIGURA 78 – POSICIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS (FONTE: AUTOR) .....	151
FIGURA 79 – POSICIONAMENTO DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA A PREVENÇÃO AO COVID-19 E PANDEMIAS (FONTE: AUTOR) .....	152
FIGURA 80 – DESENHO DA FACHADA DO NOVO ESPAÇO EDUCACIONAL (FONTE: AUTOR).....	157

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS E PRECIPITAÇÃO MÉDIA AO LONGO DO ANO NO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA. VALORES MÉDIO OBTIDOS A PARTIR DA ANÁLISE DE DADOS DE 30 ANOS (FONTE: CLIMATEMPO, 2020)	12
TABELA 2 – TABELA COM AS FAIXAS DE PRESERVAÇÃO, EM METROS, EM FUNÇÃO DA LARGURA DO CURSO D'ÁGUA, TAMBÉM EM METROS, DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO.	19
TABELA 3 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DO TESTE DO CORDÃO (FONTE: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)	29
TABELA 4 – AVALIAÇÃO DO TESTE DA FITA (FONTE: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)	30
TABELA 5 – AVALIAÇÃO DO TESTE DE EXSUDAÇÃO (FONTE: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)	30
TABELA 6 – AVALIAÇÃO DO TESTE DA RESISTÊNCIA SECA (FONTE: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)	31
TABELA 7 – RESISTENCIA À TRAÇÃO DE ALGUMAS ESPÉCIES DE BAMBU. COMPARATIVO COM O AÇO (FONTE: CARBONARI ET AL, 2017)	38
TABELA 8 – COMPARATIVO DAS DIMENSÕES NECESSÁRIAS PARA OS ESPAÇOS EDUCATIVOS POR NÍVEL DE ENSINO, DEFINIDO POR SANTOS (1988), GUIMARÃES (2004) E GOUVÊA (2008) (FONTE: NEVES, 2015)	73
TABELA 9 – ESTRATÉGIAS PARA VENTILAÇÃO, SOMBREAMENTO E VEDAÇÃO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3 (FONTE: ABNT, 2003)	87
TABELA 10 – ILUMINÂNCIA, LIMITAÇÃO DE OFUSCAMENTO E QUALIDADE DA COR EM FUNÇÃO DAS ÁREAS, TAREFAS E ATIVIDADES NO ESPAÇO EDUCACIONAL PLANEJADO. (FONTE: NBR/ISSO 8995)	92
TABELA 11 – TIPOS DE TELHADO VERDE E SUAS CARACTERÍSTICAS (FONTE: IGRA, 2011)	93
TABELA 12 – PLANTAS IDEAIS PARA TELHADO VERDE EXTENSIVO. NA TABELA NÃO ESTÃO INDICADAS TODAS AS OPÇÕES POSSÍVEIS, MAS ALGUMAS MAIS UTILIZADAS. (DISPONÍVEL EM < <a href="http://skygarden.com.br/index.php/telhados-verdes/opcoes-de-plantas">HTTP://SKYGARDEN.COM.BR/INDEX.PHP/TELHADOS-VERDES/OPCOES-DE-PLANTAS</a> > ACESSO EM JUNHO DE 2020)	94
TABELA 13 – COEFICIENTES DE RUGOSIDADE EM FUNÇÃO DO MATERIAL DA CALHA (FONTE: ABNT, 1989)	97
TABELA 14 – ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO MÉDIO AO LONGO DO ANO NO MUNICÍPIO DE BARRA LONGA. A TABELA EXPRESSA TAMBÉM A MÉDIA, UTILIZADA NO MÉTODO DE AZEVEDO PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CISTERNA, ALÉM DA MEDIANA, PARA DEFINIR O NÚMERO DE MESES DE SECA. (FONTE: CLIMATEMPO, 2020)	99
TABELA 15 – CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TIPO DE EDIFICAÇÃO. NOTA-SE QUE ESCOLAS (SEMI-INTERNATO) CONSOMEM 100L/DIA PER CAPITA (FONTE: CARVALHO JUNIOR, 2014)	101
TABELA 16 – TABELA DO CONSUMO DE ENERGIA POR ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL. MODELOS DE LÂMPADAS DO CATÁLOGO DA PHILIPS (FONTE: AUTOR)	104
TABELA 17 – CONSUMO DE ENERGIA POR ELETRÔNICOS E ELETRODOMÉSTICOS (FONTE: AUTOR)	105
TABELA 18 – DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO DA CANADIAN SOLAR (DISPONÍVEL EM: < <a href="https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&amp;file=custom/upload/file-1594840569.pdf">HTTPS://WWW.NEOSOLAR.COM.BR/LOJA/FILEUPLOADER/DOWNLOAD/DOWNLOAD/?D=1&amp;FILE=CUSTOM/UPLOAD/FILE-1594840569.PDF</a> > ACESSO EM NOVEMBRO DE 2020)	107

TABELA 19 – DADOS COLETADOS PARA O DIMENSIONAMENTO, NÚMERO DE PLACAS NECESSÁRIAS E INCLINAÇÃO DE INSTALAÇÃO (FONTE: AUTOR) _____	153
TABELA 20 – RESUMO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NECESSÁRIO PARA ATENDER USO DE CHUVEIROS E LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA (FONTE: AUTOR) _____	156
TABELA 21 – VALORES DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS PARA AS DIFERENTES SOLICITAÇÕES NOS ELEMENTOS DE BAMBU. OS VALORES DA TABELA SÃO PARA BAMBU COM COEFICIENTE DE HUMIDADE IGUAL A 12% (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	108
TABELA 22 – MÓDULOS DE ELASTICIDADE PARA BAMBU COM COEFICIENTE DE HUMIDADE DE 12%. PARA ANÁLISE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS, UTILIZA-SE O E0,5. EMIN PARA O COEFICIENTE DE ESTABILIDADE DAS VIGAS, E O E0,05 PARA CÁLCULOS DE DEFLEXÃO. (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	108
TABELA 23 – VALORES DO FATOR DE REDUÇÃO PARA AS DIFERENTES SOLICITAÇÕES. A EXPRESSÃO NA PARTE INFERIOR DA TABELA INDICA O CÁLCULO PARA A DETERMINAÇÃO DA TENSÃO ADMISSÍVEL EM FUNÇÃO DOS FATORES E DA TENSÃO CARACTERÍSTICA (FONTE: G-NRS-10,2010) _____	109
TABELA 24 – COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO POR DURAÇÃO DA CARGA ( $C_D$ ) (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	110
TABELA 25 – COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO POR TEMPERATURA ( $C_T$ ) (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	111
TABELA 26 – COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO POR HUMIDADE ( $C_M$ ) (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	110
TABELA 27 – COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO POR ESTABILIDADE LATERAL DA VIGA ( $C_L$ ) EM FUNÇÃO DA GEOMETRIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	111
TABELA 28 – COEFICIENTE DE MODIFICAÇÃO POR CORTANTE ( $C_c$ ). (FONTE: G-NRS-10, 2010) _____	112
TABELA 29 – VALORES DO DIÂMETRO E ESPESSURA DA PAREDE DO BAMBU EM POSIÇÕES DIFERENTES AO LONGO DO COLMO UTILIZANDO EXPRESSÕES MATEMÁTICAS DO ARTIGO DE GHAVAMI, 2005 (FONTE: MODIFICADO DE GHAVAMI, 2005) _____	114
TABELA 30 – COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA, EXTERNOS, PARA PAREDES DE EDIFICAÇÃO DE PLANTA RETANGULAR (MODIFICADO DE NBR 2123:1988) _____	118
TABELA 31 – VALORES DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA PARA AS PAREDES FRONTAIS E LATERAIS (FONTE: AUTOR) _____	119
TABELA 32 - VALORES DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO E FORMA PARA A COBERTURA (FONTE: AUTOR) _____	120
TABELA 33 – COMBINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS NA ESTRUTURA. DEVE-SE CONSIDERAR A SOLICITAÇÃO MAIS DESFAVORÁVEL. (FONTE: NRS-98) _____	123

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos.....	2
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>3</b>
2.1	Desenvolvimento Sustentável.....	3
2.1.1	Territorialidade .....	5
2.1.2	Gênero.....	6
2.1.3	Raça e Etnia .....	6
2.1.4	Ética Ambiental.....	6
2.2	O Território.....	7
2.2.1	O Rompimento da Barragem de Fundão e consequências socioambientais pós desastre, em Gesteira.....	13
2.3	Bioconstrução .....	22
2.3.1	Técnica construtiva escolhida: COB .....	24
2.4	Eficiência Energética .....	46
2.5	Gestão de água .....	47
2.6	Tratamento de resíduos.....	48
2.7	Tecnologias construtivas e Ecotécnicas .....	50
2.7.1	Conforto Visual e Térmico (Iluminação e ventilação natural).....	51
2.7.2	Telhado Verde e captação de água da chuva.....	53
2.7.3	Biodigestor .....	58
2.7.4	Energia Fotovoltaica .....	65
2.8	Organicidade .....	66
2.8.1	Friedensreich Hundertwasser .....	68

2.9	Planejamento de espaços culturais e educacionais .....	71
2.10	Projeto Referência: Escola Sustentável em Jaureguiberry, no Uruguai .....	74
<b>3</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>77</b>
3.1	Definição e estudo do local.....	77
3.1.1	Justificativa .....	78
3.1.2	Local: Escola municipal da comunidade em ruínas .....	79
3.1.3	Premissas ao projeto .....	81
3.2	Viabilidade do solo para COB.....	82
3.3	Itens do planejamento.....	83
3.3.1	Arquitetônico.....	84
3.3.2	Hidrossanitário (reservatório).....	100
3.3.3	Fotovoltaico .....	103
3.3.4	Estrutural .....	108
<b>4</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>147</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>158</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>161</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades que mais impacta o meio ambiente, principalmente a partir da chegada de métodos construtivos pós Revolução Industrial. Diante disso, a preocupação com o meio ambiente é fundamental para que os recursos do planeta sejam utilizados de forma consciente e responsável, uma vez que são limitados. Em média, cada habitante do planeta consome 10 toneladas de material por ano, podendo chegar a 85 toneladas nos países desenvolvidos, e, desse consumo, 40 a 75% estão na indústria da construção civil. O mesmo setor é responsável por 15 a 50% do consumo de recursos naturais e o maior gerador de resíduos (JOHN e AGOPYAN, 2000). Dessa forma, a educação ambiental e o desenvolvimento sustentável, referenciada e construída a partir das premissas da sustentabilidade é chave para o estudo e, segundo Cantarino (2006), a aplicação de métodos não convencionais pode unir os avanços de pesquisas com conhecimentos populares sobre construção.

A bioconstrução é um exemplo dessa união. É um sistema construtivo que respeita o meio ambiente em todas as etapas do projeto, desde a concepção até o uso da habitação. Além dos materiais utilizados, que buscam minimizar os impactos relacionados aos gastos energéticos, consumo excessivo de água e uso de recursos não renováveis, a bioconstrução possui um viés social. A participação das pessoas que utilizarão a edificação durante a construção é importante para que exista identidade entre o usuário e a habitação (CANTARINO, 2006).

Somado a isso, uma vez que os métodos bioconstrutivos visam respeitar o meio ambiente, é importante também a coexistência através da organicidade. Nas obras orgânicas há unidade e integração, ou seja, a conexão entre a parte e o todo. Dessa forma, a natureza é fundamental no organicismo (ZEVI, 1949).

O respeito ao meio ambiente se completa com o planejamento sustentável, alcançado também a partir da Educação Ambiental. Os impactos de uma obra vão além dos resíduos gerados durante a execução. Está relacionada à produção dos materiais, ao tipo de método construtivo e também ao uso do edifício. Dessa forma, questões importantes que devem ser estudadas e aplicadas são: eficiência energética, gestão e economia da água e tratamento dos resíduos, por exemplo. Assim, os impactos durante toda a vida da edificação serão minimizados.

Há em curso profunda revisão de forma como os setores corporativos se apropriaram e adaptaram, segundo seus interesses, os conceitos de desenvolvimento sustentável. É neste contexto que este trabalho tem a intenção de materializar num projeto de engenharia, e retomada das bases filosóficas de sustentabilidade, aplicando-as.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo geral deste trabalho foi o planejamento de um espaço educacional-cultural, inteligente, com controle do consumo de bens naturais, portanto, sustentável, em contribuição ao processo de reparação pelas perdas materiais e imateriais de atingidos por barragem.

O local de aplicação é um distrito do município de Barra Longa, chamado Gesteira, atingido pelo rompimento da Barragem de Fundão, em 2015. Trata-se de uma comunidade às margens do Rio Gualaxo do Norte, onde funcionava uma Escola, que hoje encontra-se em ruínas devido ao colapso de Fundão e carreamento de rejeitos sobre o território.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Somado ao objetivo geral, tem-se os objetivos secundários deste trabalho.

1. Considerando-se a história de construção e acúmulo de tecnologias construtivas regionais, de longa durabilidade, é objetivo utilizar tais conhecimentos no processo construtivo da unidade proposta;
2. Sistematizar teoricamente os processos construtivos centenários, de origem milenar, da localidade atingida, difundindo-os, e agregar técnicas e tecnologias contemporâneas de forma a expandir suas possibilidades de sustentabilidade da obra;
3. Desmistificar conceitos de qualidade, durabilidade, replicabilidade e conforto vigentes em associação às tecnologias e métodos criados pós revolução industrial, por meio do projeto, que vincula em seu planejamento as complexidades dos diferentes tempos históricos;
4. Contribuir com a transversalização da Educação Ambiental referenciada nas premissas de sustentabilidade na Engenharia Civil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Desenvolvimento Sustentável

As atividades que englobam a construção civil impulsionam, na maioria dos casos, alterações negativas no ambiente. Os principais impactos estão relacionados ao uso de energia, às emissões atmosféricas, à matéria prima, à geração de resíduos, água utilizada, efluentes líquidos e uso do solo. Diante disso, o planejamento sustentável é fundamental para que as atividades na construção gerem menos impactos durante a concepção da obra e também durante seu uso (PINHEIRO, 2003).

O desenvolvimento sustentável é a resposta de como o planeta pode proporcionar recursos suficientes para garantir o bem-estar das pessoas. No entanto, alguns conceitos como pegada ecológica, pegada hídrica e de carbono evidencia que a busca por tais recursos vai além da capacidade da Terra (SILVA, ALEIXO, *et al.*, 2013).

Durante a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável (*First World Conference for Sustainable Construction*, Tampa, Florida), foram sugeridos alguns princípios da construção sustentável, são eles: minimizar o consumo de recursos, maximizar a reutilização dos recursos, utilizar recursos recicláveis e renováveis, proteger o meio ambiente, criar ambiente saudável e não tóxico e estimular a qualidade ao criar o ambiente construído (KIBERT, 1994).

O conceito de desenvolvimento sustentável deve estar presente no planejamento. Segundo Harlem Brundtland (secretária geral da Assembleia da Comissão sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da ONU – Organização das Nações Unidas, em 1987), desenvolvimento sustentável é a resposta às atuais necessidades sem prejudicar gerações futuras na busca de suas próprias necessidades (ZAMBRANO, 2008).

A escolha de materiais ecológicos não é suficiente. Requer pré-planejamento e investigação em diferentes áreas de pesquisa: civil, arquitetura, mecânica, química, ambiental, entre outros. Construções sustentáveis são resultados das melhores estratégias a fim de se obter um sistema vivo e eficiente. E mais, a simplicidade e objetividade estão presentes, ou seja, é fazer mais com menos. É encontrar, nos sistemas e materiais, eficiência de modo que o consumo energético seja minimizado e a vida útil das edificações prolongado (PINHEIRO, 2003).

Vale lembrar que, para se levantar e obter questões técnicas que minimizam os impactos ambientais, como soluções para o consumo de energia, uso da água, e gestão de resíduos sólidos, por exemplo, é importante os avanços em Educação Ambiental para o desenvolvimento de sociedades responsáveis. A Educação Ambiental, de forma geral, está ligada apenas à proteção dos ambientes naturais e não considera a necessidade dos direitos da população integrada a esses ambientes. No entanto, a educação deve oferecer o conhecimento em relação a utilização dos recursos. Assim, a Educação Ambiental e o desenvolvimento sustentável andarão de mãos dadas (SAUVÉ, 1997).

Embora o discurso sobre sustentabilidade tenha sido incorporado por vários setores, seu conteúdo foi adaptado segundo interesses que na verdade condicionam a natureza às determinantes econômicos. Tem-se o fracasso em se garantir bem estar coletivo diante do aquecimento global, devastação das florestas, desastres e crimes ambientais e, ainda, a constatação que corporações se apresentam como sustentáveis, quando de fato não são. Levam a uma revisão conceitual de desenvolvimento sustentável, sobretudo as falhas de se estruturar transversalização da Educação Ambiental no ensino universitário, motivam debates mundiais sobre a necessária dissociação da natureza (ambiente) de crescimento. Assim, as premissas para a sustentabilidade são referências definitivas para a engenharia que se pretenda sustentável.

Portanto, um projeto de Engenharia será efetivamente sustentável quando todas os princípios básicos da sustentabilidade, formulados por Ignacy Sachs (1993) são enxergados e cumpridos com mesma importância. Tais princípios são nomeadas como sustentabilidade social, econômica, ecológica, espacial e cultural. A Figura 1, a seguir, ilustra as premissas da sustentabilidade em uma espiral e algumas delas serão brevemente discutidas.

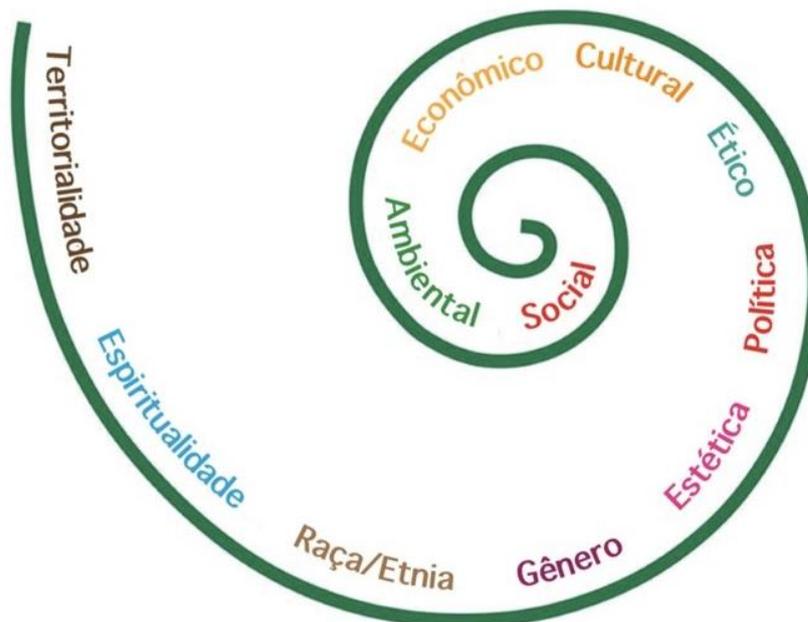


Figura 1 – Premissas para a sustentabilidade (Fonte: PEREIRA, D. M.; LEA:AUEPAS/DEPRO-DEGEP/UFOP)

### 2.1.1 Territorialidade

O território não é apenas o resultado da superposição de um conjunto de sistemas naturais e um conjunto de sistemas de coisas criadas pelo homem. O território é o chão e mais a população, isto é, uma identidade, o fato e o sentimento de pertencer àquilo que nos pertence. O território é a base do trabalho, da residência, das trocas materiais e espirituais e da vida, sobre os quais ele influi (SANTOS, 2000).

Segundo Milton Santos, território é onde se nasce e vive. É onde a vida acontece. É o lugar onde se constrói identidade e cultura. É a base material do trabalho. É onde estruturam-se as relações sociais e traça-se a história.

### **2.1.2 Gênero**

O Gênero [...] permite observar as relações sociais em suas mais variadas dimensões [...] O processo histórico brasileiro criou condições diferenciadas para as mulheres obterem o acesso à cidadania plena no desenvolvimento democrático do país. O sexismo tem um impacto específico quando associado às práticas naturalizadas pelo racismo e pelo etnocentrismo na sociedade. Essa perversa combinação vem afetando a vida de milhões de mulheres negras e indígenas e comprometendo a vigência da plena democracia (PEREIRA, 2015).

### **2.1.3 Raça e Etnia**

Nesta premissa, a sustentabilidade só pode ser alcançada uma vez que não exista a crença de superioridade de um grupo sobre o outro em relação a raça, mas também em relação aos hábitos, costumes, comportamentos, valores, crenças e condição socioeconômica, por exemplo. A construção racial é um elemento cultural cuja base é a diferença real ou imaginária. A partir dos anos 1980, o racismo deixa de ter como elemento fundador a noção com base na raça e no sangue e se transfere para a cultura (MUNANGA, 1998). Entretanto, a ideia da raça e a crença na suposta classificação hierárquica permanecem hoje nas mediações socioculturais brasileiras. Está impregnado nas práticas sociais e nas relações de poder e dominação, além de persistirem no imaginário social e na representação coletiva de populações subalternizadas.

### **2.1.4 Ética Ambiental**

A ética ambiental amplia o conceito de ética enquanto da forma de agir do homem em seu meio social, pois se refere também à sua maneira de agir em relação à Natureza. Considera que a conservação da vida humana está intrinsecamente ligada à conservação da vida de todos os seres. O conceito de ética ambiental relaciona-se como por oposição ao antropocentrismo. Por esse conceito, o comportamento do homem deve ser considerado em relação a si mesmo e em relação a vivos.

O princípio da responsabilidade ética, formulado pelo filósofo Hans Jonas, trata da necessidade de urgência estabelecimento de limites e no exercício do cuidado no cotidiano. Afirma Jonas:

[...] as antigas prescrições da ética “do próximo” – as prescrições da justiça, da misericórdia, da honradez, etc. – ainda são válidas, em sua imediaticidade íntima, para a esfera mais próxima, quotidiana, da interação humana. Mas essa esfera torna-se ensombrecida pelo crescente domínio do fazer coletivo, no qual ator, ação e efeito não são mais os mesmos da esfera próxima. Isso impõe à ética, pela enormidade de suas forças, uma nova dimensão, nunca antes sonhada, de responsabilidade (JONAS, 2006).

## **2.2 O Território**

Gesteira é um distrito do município de Barra Longa, em Minas Gerais, localizado aproximadamente a 60 km do município de Mariana (Figura 2). A população do município, segundo o último censo do IBGE (2010) é de 6143 habitantes e densidade demográfica de 16 hab./km<sup>2</sup>.

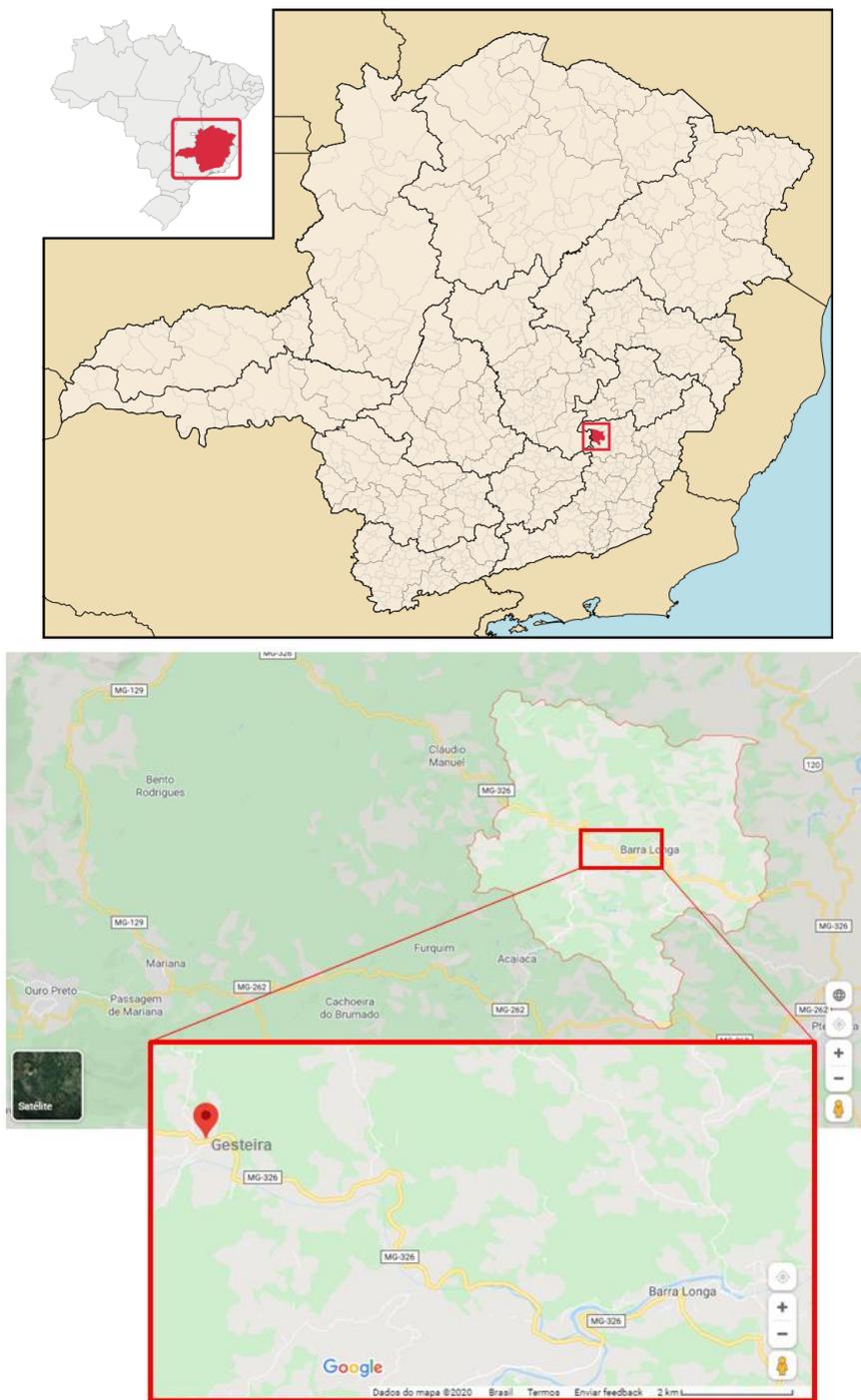


Figura 2 - Localização de Gesteira, distrito do Município de Barra Longa, local de aplicação do trabalho. Acima a localização em relação ao território brasileiro e Minas Gerais (Fonte: ABREU, 2006), e, abaixo, o distrito em relação ao município (Fonte: modificado do Google Maps)

Quanto ao trabalho e rendimento do município, o IBGE, em 2017, indicou que o salário médio mensal é de 1,7 salários mínimos e 8,9% da população é ocupada (trabalho formal). O PIB per capita do município, em 2010, foi de aproximadamente R\$ 12.400,00 e Índice de Desenvolvimento Humano, IDH, de 0,624. Barra Longa é um município com 385 km<sup>2</sup> e localizado no Bioma Mata Atlântica.

A pesquisa sobre o território tem como objetivo descrever determinadas características importantes para o trabalho em questão, tanto na justificativa como no desenvolvimento do trabalho. Solo, clima, serviços públicos e consequências pós rompimento da Barragem de Fundão são os destaques.

A definição do solo do território foi feita a partir do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, realizado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), Universidade Federal de Lavras (UFL) e Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). O distrito Gesteira está localizado às margens do Rio Gualaxo do Norte. Ao longo do rio os solos são denominados como cambissolo. Na nascente, como latossolo vermelho, e já ao longo do leito e na região em que o Rio Gualaxo do Norte se encontra com o Rio do Carmo, como argilossolos vermelho-amarelo. As Figuras 3, 4 e 5, a seguir, indicam a fração do mapa em que se encontra o município de Barra Longa, zoom do mapa na região do Rio Gualaxo do Norte e a legenda do mapa, respectivamente.

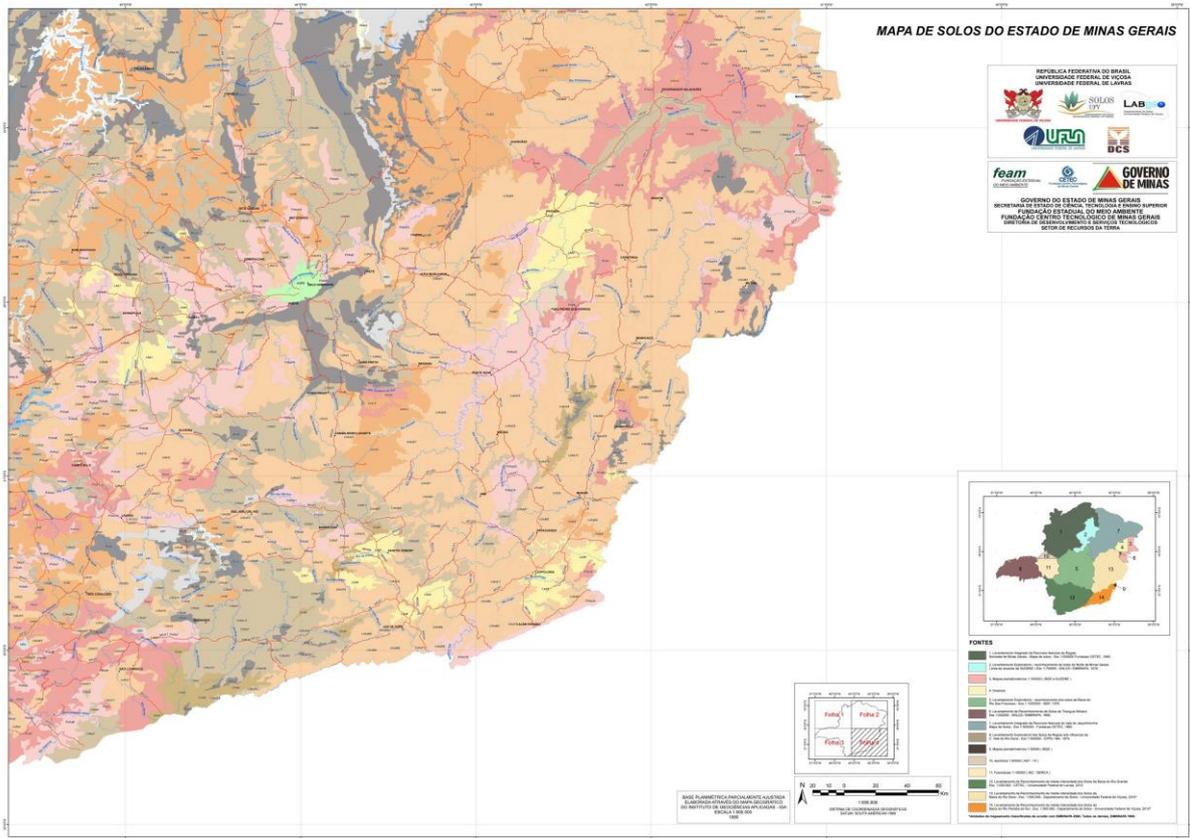


Figura 4 - Fração do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais que contém o Município de Barra Longa (Fonte: UFV, CETEC; UFL; FEAM, 2010)

LEGENDA		LEGENDA		LEGENDA	
Primeiro elemento da associação		Primeiro elemento da associação		Primeiro elemento da associação	
Água	Corpos d'água	LAd	Latossolo amarelo distrófico	PVd	Argissolo vermelho distrófico
AR	Afloramento rochoso	LVAAd	Latossolo vermelho-amarelo distrófico	PVe	Argissolo vermelho eutrófico
AU	Área urbanizada	LVd	Latossolo vermelho distrófico	RLd	Neossolo litólico distrófico
CXbd	Cambissolo háplico Tb distrófico	LVdf	Latossolo vermelho distroférico	RLdh	Neossolo litólico distro-úmbrico
CXbdf	Cambissolo háplico Tb distroférico	LVe	Latossolo vermelho eutrófico	RLe	Neossolo litólico eutrófico
CXbe	Cambissolo háplico Tb eutrófico	LVeF	Latossolo vermelho eutroférico	RLh	Neossolo litólico húmico
CHd	Cambissolo húmico distrófico	NVe	Nitossolo vermelho eutrófico	RQg	Neossolo quartzarênico hidromórfico
CYbe	Cambissolo flúvico Tb eutrófico	NVef	Nitossolo vermelho eutroférico	RQo	Neossolo quartzarênico órtico
FTd	Plintossolo argilúvico distrófico	NXd	Nitossolo háplico distrófico	RUBd	Neossolo flúvico Tb distrófico
GMd	Gleissolo melânico Tb distrófico	PVAd	Argissolo vermelho-amarelo distrófico	SXe	Planossolo háplico eutrófico
GXbd	Gleissolo háplico Tb distrófico	PVAe	Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	TCo	Luvissolo crômico órtico

Como citar este mapa: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

Figura 3 – Legenda referente ao Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais. Indica os tipos de solos ao longo do Estado (modificado de: UFV; CETEC; UFL; FEAM, 2010)



Figura 5 – Zoom do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais indicando o Rio Gualaxo do Norte, localização aproximada de Gesteira, distrito de Barra Longa (modificado de UFV; CETEC; UFL; FEAM, 2010)

Partindo para os serviços públicos, a avaliação será feita na confirmação ou não dos seguintes serviços: tratamento e fornecimento de água, tratamento de esgoto, distribuição de energia elétrica, coleta de lixo e serviços de telecomunicação. O censo de 2010 indica que 60,9% do território apresenta esgotamento sanitário adequado. As demais informações sobre o território serão discutidas na metodologia deste trabalho, uma vez ser necessária uma avaliação no ponto específico de aplicação do trabalho.

As consequências pós rompimento da Barragem de Fundão, no município de Barra Longa, atingiram diversas esferas, assim como em todo o território percorrido pela lama. A tsunami, que deixou 19 mortos no município (G1), devastou Áreas de Preservação Permanente, contaminou solos, água e alimentos, afetou a saúde física e mental do atingidos, além das perdas socioeconômicas (PEREIRA, 2019). Tal revisão será discutida no próximo tópico.

Em relação às temperaturas médias anuais e índices pluviométricos, tem-se que a média da temperatura mínima, no município de Barra Longa, é de 13°C, no mês de julho, enquanto a média da máxima é de 27°C, no mês de outubro. Em relação às chuvas, a média da precipitação mínima, em mm, é de 10, no mês de julho, e máxima de 307, em dezembro. A Tabela 1 a seguir indica os valores das temperaturas mínimas e máximas, além da precipitação média ao longo do ano, a partir de cálculos

ao longo do ano com série de dados de 30 anos observados, atualizados anualmente (CLIMATEMPO, 2020).

<b>Mês</b>	<b>Minima (°C)</b>	<b>Máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
Janeiro	19°	25°	285
Fevereiro	19°	26°	150
Março	18°	25°	165
Abril	17°	25°	72
Maio	15°	23°	34
Junho	14°	22°	12
Julho	13°	22°	10
Agosto	15°	24°	20
Setembro	16°	25°	58
Outubro	18°	27°	101
Novembro	18°	26°	214
Dezembro	19°	25°	307

Tabela 1 – Valores das temperaturas máximas e mínimas e precipitação média ao longo do ano no município de Barra Longa. Valores médio obtidos a partir da análise de dados de 30 anos (Fonte: Climatedempo, 2020)

### **2.2.1 O Rompimento da Barragem de Fundão e consequências socioambientais pós desastre, em Gesteira.**

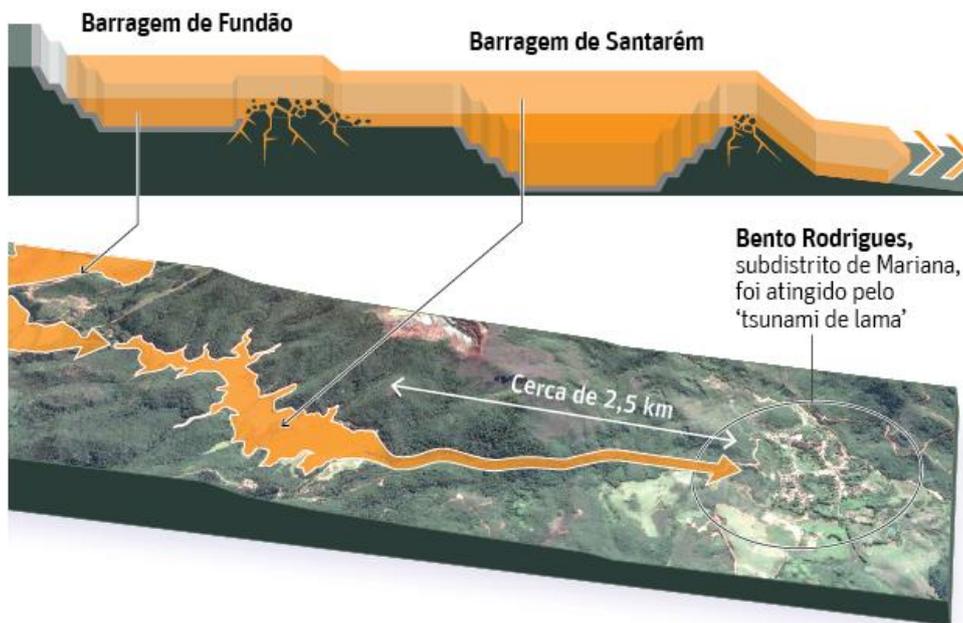
Uma das regiões atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão foi o local de aplicação deste trabalho. O povoado de Gesteira ficou coberto pelo tsunami de lama, que destruiu dezenas de famílias, a capela de Nossa Senhora da Conceição, a escola municipal da comunidade e a quadra de futebol (MANENTI, 2015). No entanto, as perdas foram e são além de físicas. O ecossistema, a economia do povoado e a saúde física e mental dos atingidos, por exemplo, foram afetados e são evidentes atualmente, quase 5 anos após o rompimento. A Figura 6 a seguir apresenta a região da capela e da escola da comunidade, local escolhido com a comunidade para a proposta do projeto.



Figura 6 - Vila e igreja em Gesteira, na zona rural de Barra Longa (MG), sob a lama após o rompimento da Barragem de Fundão. Após o nível do rio descer, a marca de lama pode vista no alto da fachada da Capela Nossa Senhora da Conceição. À direita da capela está a antiga escola da comunidade (Foto: Fábio Tito/G1)

Diante da história da mineração em território brasileiro, desde o século XVII, tais atividades aumentaram com o passar dos anos, o que levou à uma realidade de mega-mineração, atualmente fomentada pelo capitalismo. Associado à sede de lucro pelas grandes empresas mineradoras e à exploração de minério exacerbada, estão os “acidentes”, que neste trabalho serão tratados como “crimes”, uma vez que geram sérios danos em várias esferas: morais, sanitários, ocupacionais, ambientais e psicossociais (MILANEZ e LOSEKANN, 2016).

Após uma série de eventos criminosos relacionados à atividade mineradora no Brasil, ocorreu, no dia 5 de novembro de 2015, a maior tragédia do mundo dessa natureza, no município de Mariana, em Minas Gerais. O Rompimento das barragens de rejeito de Fundão e Santarém, de responsabilidade da megamineradora Samarco (hoje sob o controle da Vale e da BHP Billiton) despejou aproximadamente 55 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério nos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, destruindo municípios, vilarejos e ecossistemas ao longo dos 663 km que a lama percorreu até chegar ao litoral, no estado do Espírito Santo (LACAZ, PORTO e PINHEIRO, 2017). O esquema do rompimento e o trajeto da lama estão indicados na Figura 7 a seguir.



#### O CAMINHO DA LAMA

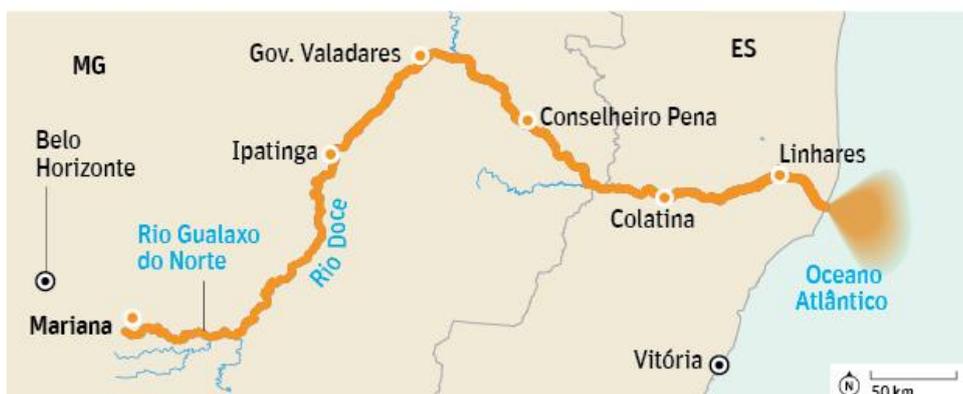


Figura 7 – Esquema do rompimento da Barragem de Fundão, indicando a primeira localidade atingida, Bento Rodrigues. Abaixo, a trajetória da lama ao longo da Bacia do Rio Doce até o encontro com o Oceano Atlântico (Fonte: Folha de São Paulo)

A análise das comunidades atingidas conclui a materialização do chamado racismo ambiental, praticado pelas empresas Samarco/Vale/BHP Billiton. A escolha do local da Barragem de Fundão, além de priorizar questões econômicas, apontou tendências de situações riscos direcionados às comunidades predominantemente negras. A população de Bento Rodrigues, região mais próxima à barragem, é composta por 84% de negros. A comunidade de Gesteira, foco deste trabalho, apresenta percentual de 70,4% (PEREIRA, 2019).

Racismo ambiental é configurado quando os prejuízos ambientais resultantes de atividades agroindustriais, extrativistas ou de processos do poder público, incidem

principalmente sobre determinadas etnias (HERCULANO e PACHECO, 2006). O mapa a seguir (Figura 8) apresenta uma perspectiva do racismo ambiental, indicando os limites territoriais por onde a lama percorreu, nos municípios de Mariana e Barra Longa, bem como os dados sobre raça e etnia da população.

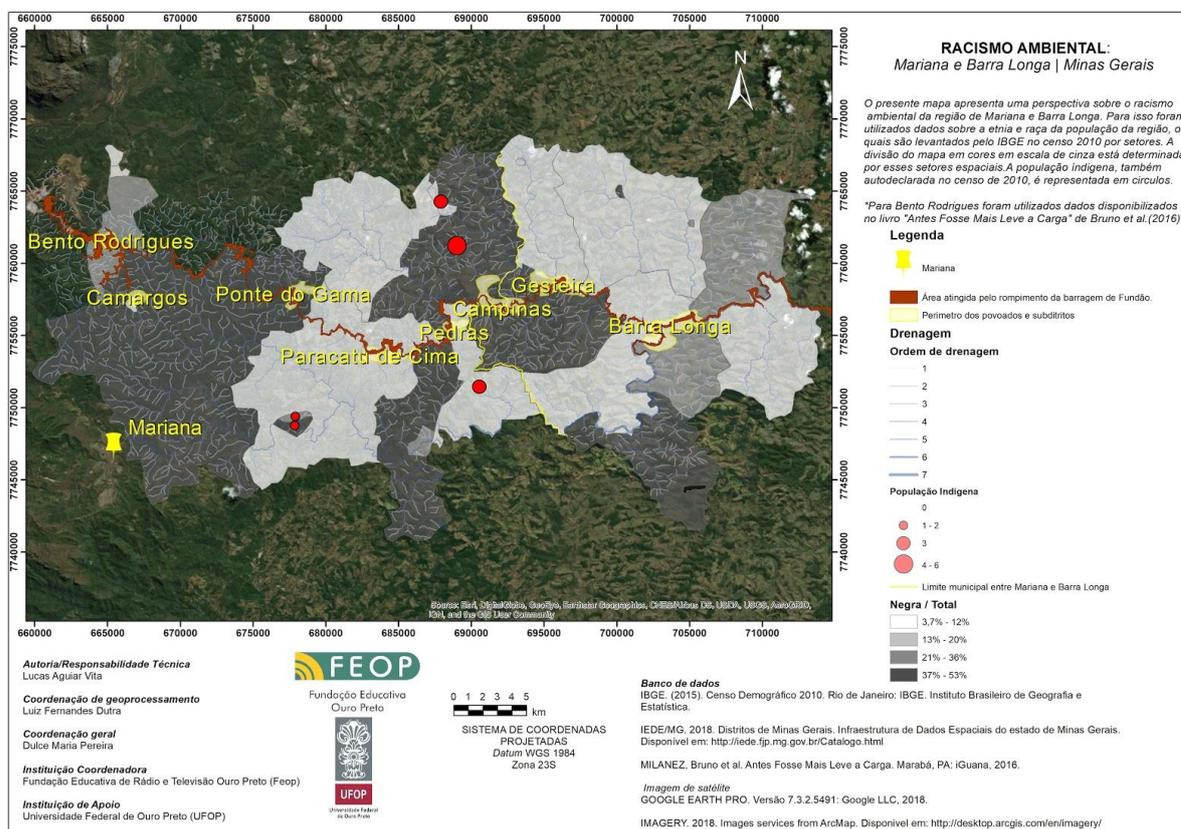


Figura 8 – Mapa da perspectiva sobre o Racismo Ambiental na região de Mariana e Barra Longa, indicando que a população atingida pelo rompimento da barragem é majoritariamente negra (Fonte: Pereira, 2019).

Após o desastre, acumularam-se rejeitos em inúmeras localidades do município de Barra Longa. As empresas responsáveis e a prefeitura do município realizaram a limpeza desses locais. No entanto, o transporte não apresentou cautelas para que a contaminação estancasse. A dispersão da poeira dos rejeitos, através do tráfego de caminhões na região, contaminou o ar. Além disso, os locais de depósito desse material foram áreas periféricas, onde a lama não havia chegado, e população predominantemente negra e menos favorecida economicamente (PEREIRA, 2019). O

mapa a seguir (Figura 9), expressa a materialização do racismo ambiental, indicando as regiões de manejo do rejeito.

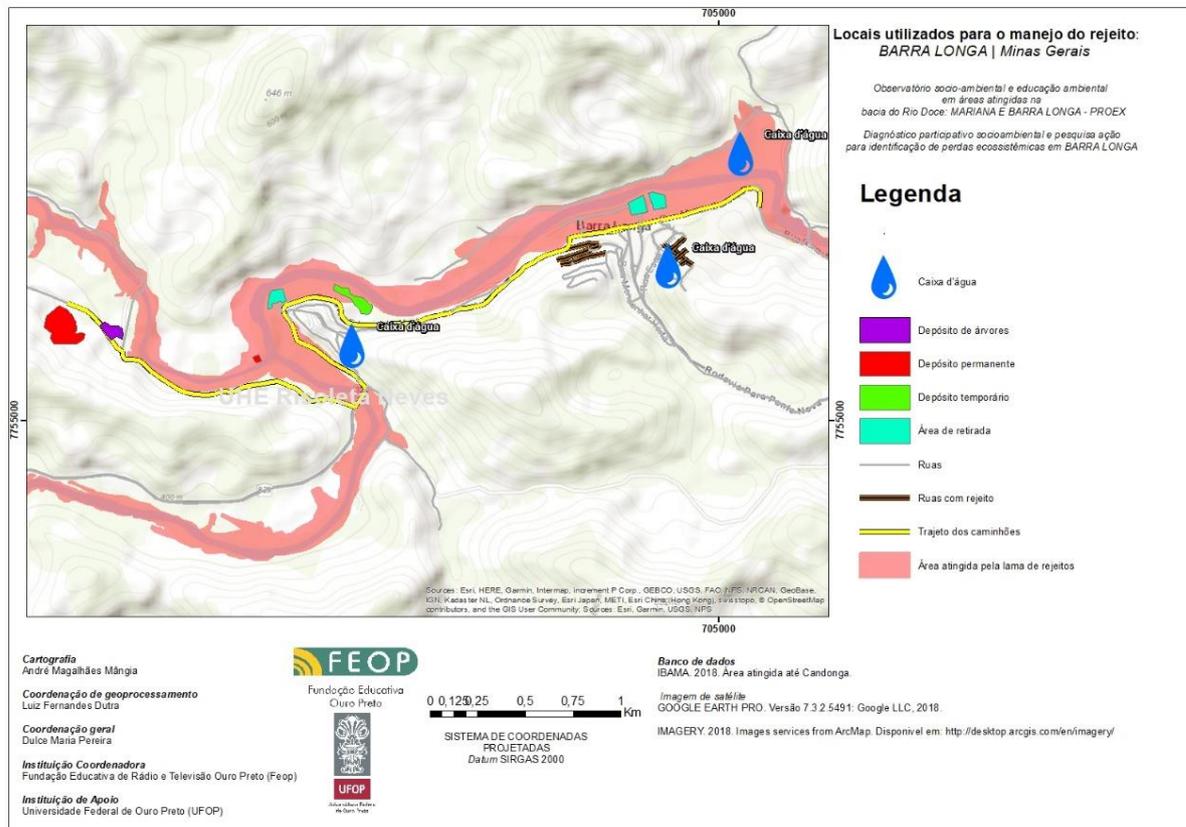


Figura 9 – Mapa com os locais utilizados para o manejo do rejeito. As linhas em amarelo indicam o trajeto dos caminhões. Nota-se que o rejeito foi transportado por locais onde não havia chegado, contaminando outras regiões (Fonte: Pereira, 2019)

Sobre o território estudado, existe relações socioambientais construídas de forma desigual. Dessa forma, as diferentes formas de compreensão do território e utilização dos seus recursos resultam em conflitos entre diferentes grupos. De um lado, os povos que coabitam com a natureza (indígenas e descendentes, africanos e descendentes, colonos, pescadores, etc.). Do outro, os que exploram sem limites a natureza, constroem capital e poder a partir dos bens ecossistêmicos. Tal disputa configura uma injustiça socioambiental.

Em relação à vegetação, fauna e flora, o rompimento da Barragem de Fundão destruiu 1459 hectares de terras ao longo dos 77 km de curso d'água dos rios Gualaxo

do Norte e do Carmo. De acordo com laudo produzido em 215, pelo Ministério Público Federal, demonstrou que na bacia do rio Gualaxo do Norte, 65,18% da área destruída são Áreas de Preservação Permanente (APP), o que resulta em aproximadamente 774 hectares (MPF, 2015). Tais perdas estão compilados no Gráfico 1, a seguir.

ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE ATINGIDAS PELA LAMA DE REJEITOS PROVENIENTE DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO, EM BARRA LONGA (EM HECTARES)

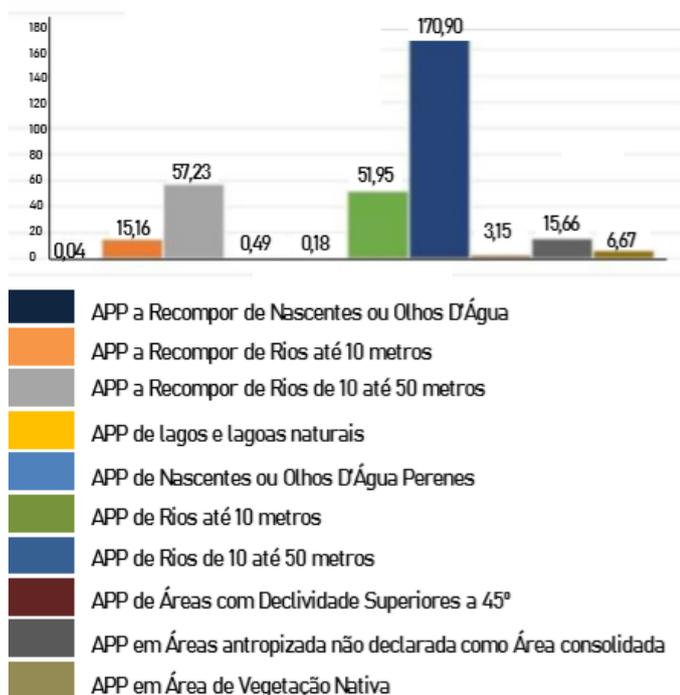


Gráfico 1 – Gráfico com as áreas, em hectares, atingidas pela lama com rejeitos, das APPs em Barra Longa, separadas por categorias dessas áreas (Fonte: PEREIRA, 2019).

De acordo com a Lei nº12.651 (2012), APPs são faixas marginais de preservação em relação ao curso d'água. A Tabela 2 a seguir indica a dimensão da faixa preservada em função da largura do rio. Já a Figura 10, indica as APP's atingidas na região de Gesteira.

FAIXAS MARGINAIS DE PRESERVAÇÕES EM CURSOS D'ÁGUA	
Curso d'água	Faixas marginais de preservação
Menos de 10 metros de largura	30 metros
De 10 a 50 metros de largura	50 metros
De 50 a 200 metros de largura	100 metros
De 200 a 600 metros de largura	200 metros
Superior a 600 metros de largura	500 metros

Tabela 2 – Tabela com as faixas de preservação, em metros, em função da largura do curso d'água, também em metros, de acordo com a legislação.

### APPs na área atingida pela lama de rejeitos em Gesteira

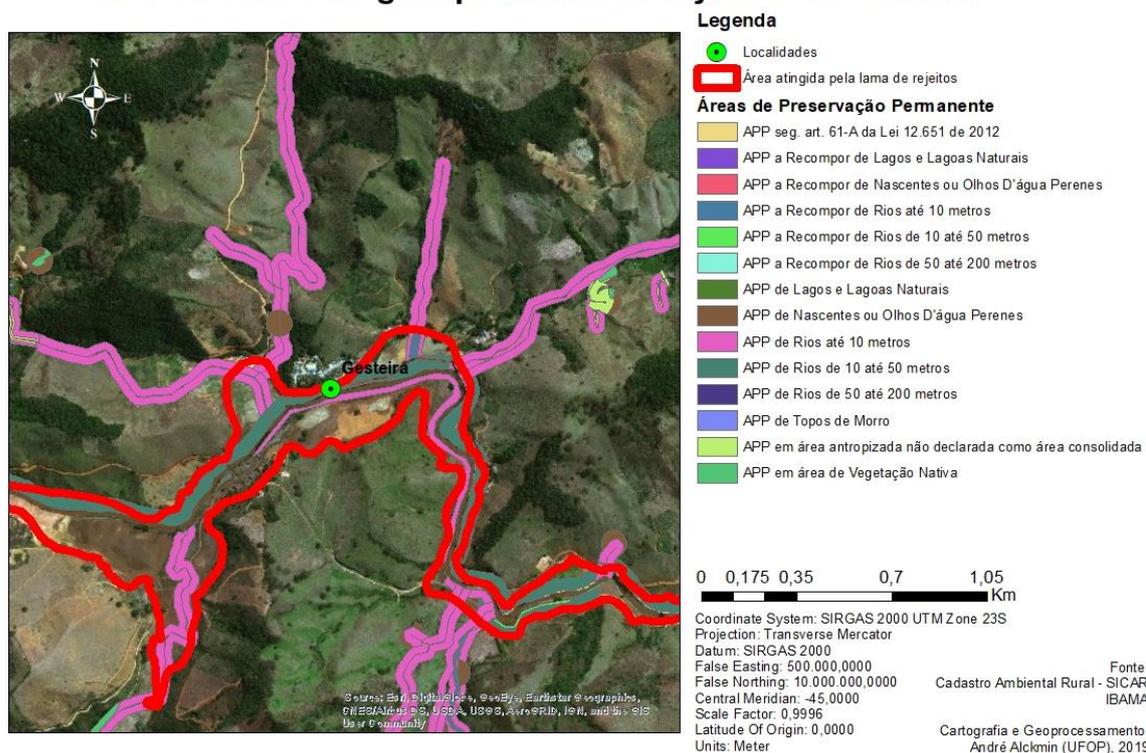


Figura 10 – Mapa com a área atingidas pela lama de rejeitos em Gesteira. No distrito, nota-se que a lama atingiu as APPs com curso d'água de largura até 10 metros. (Fonte: Pereira,2019)

As nascentes também foram afetadas, o que alterou drasticamente a qualidade das águas. A curto prazo as perdas estão relacionadas à morte dos peixes e outros organismos, gerando um desequilíbrio ecossistêmico. Segundo o Cadastro de Atividades Rurais (CAR), 18 nascentes foram atingidas, em Barra Longa (Figura 11). No entanto, a partir de análise de imagens de satélite, estima-se que o número seja superior no mesmo percurso (PEREIRA, 2019).

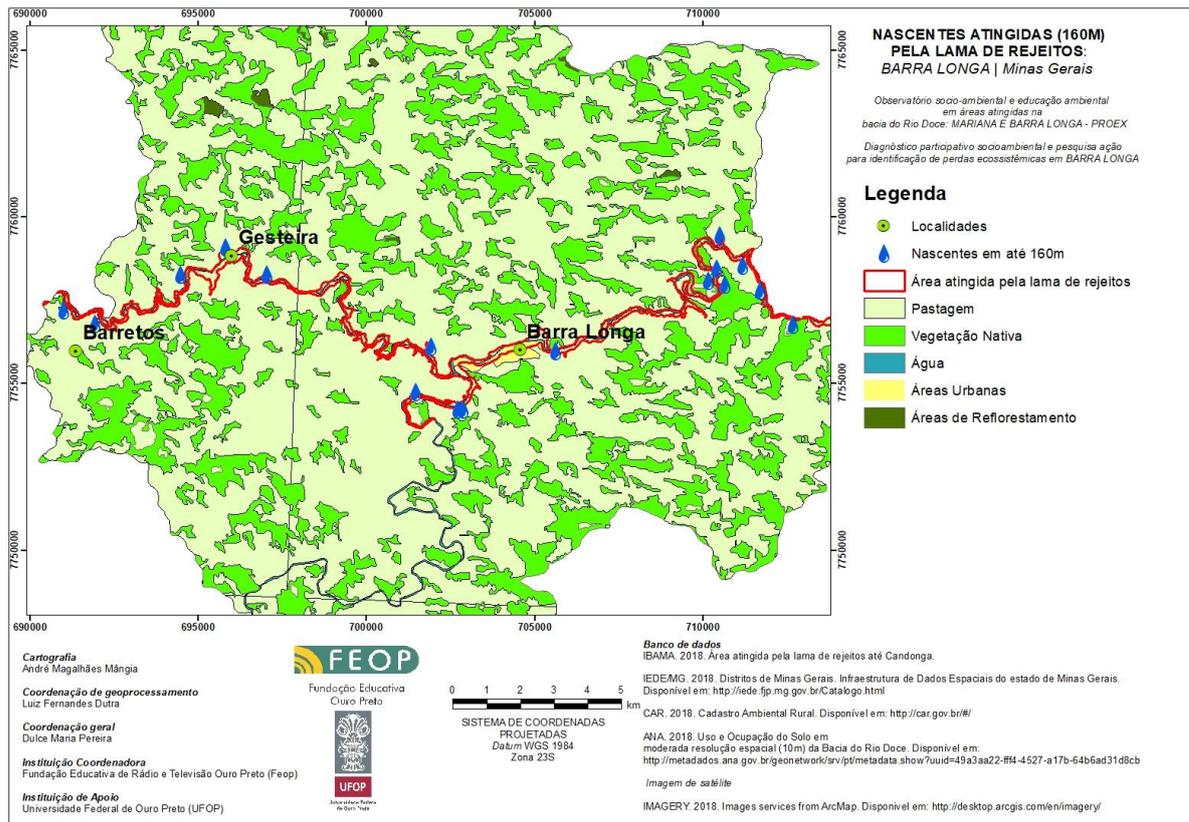


Figura 11 – Mapa com os pontos das nascentes atingidas pelo rompimento da barragem. No município de Barra Longa, 18 nascentes foram afetadas (Fonte: Pereira, 2019)

Mesmo após o rompimento da barragem de Fundão, as grandes mineradoras continuam ambiciosos em relação ao subsolo das regiões atingidas de Mariana e Barra Longa. O mapa a seguir, Figura 12, realizado pela Agencia Nacional de Mineração, em 2018, indica o pedido das atividades de mineração, na bacia do Rio do Carmo ao identificar a riqueza mineral da região. E mais, uma vez que a população atingida está realocada do território, somado a outras regiões atingidas, mas ainda parcialmente habitados, as mineradoras estão em injusta vantagem em relação a posse legal desses territórios (PEREIRA, 2019).

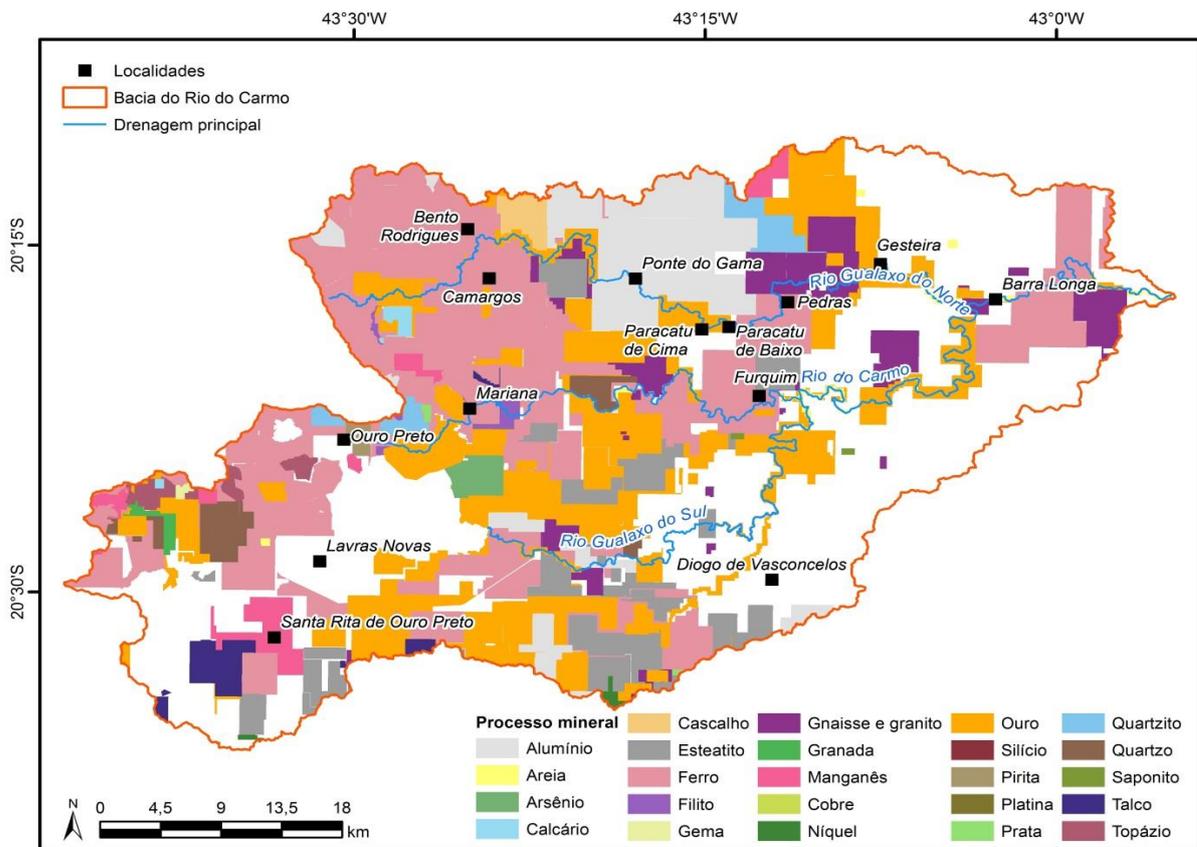


Figura 12 – Mapa com riqueza mineral no subsolo da Bacia do Rio do Carmo. O estudo indica o interesse das mineradoras pela exploração dessas regiões. Nota-se que, próximo à localidade de Gesteira, o subsolo é rico em ouro (Fonte: Agência Nacional de Mineração, 2018)

### 2.2.1.1 Necroengenharia

Diante do cenário de destruição ambiental, social e da materialização do racismo ambiental, o rompimento da Barragem de Fundão acumula de práticas de necroengenharia, desde a definição das tecnologias e desconsideração de riscos, até os dias de hoje, no pós- desastre. O conceito, proposto por Dulce Maria Pereira (2019) e baseado na definição filosófica de necropolítica, de Achille Mbembe. Trata-se da engenharia da morte. A necroengenharia se opõe aos ciclos vitais, que desconsidera os princípios da ética da responsabilidade, proposto pelo filósofo Hans Jonas.

## 2.3 Bioconstrução

As técnicas de bioconstrução, além de sustentáveis, são milenares, comprovadas por evidências históricas e por obras que apresentam vida útil até os dias de hoje. No entanto, a necessidade de menores impactos ambientais dentro da construção civil só entrou em discussão na década de 70, durante a 1ª Crise do Petróleo. Desde então, percebeu-se que os recursos energéticos, presentes tanto em processos industriais, geração de produtos e na construção, são carentes no mundo.

Na construção civil, os materiais e técnicas utilizados são responsáveis por diversos impactos. Dessa forma, os métodos de construção natural podem reduzir tais abalos. É alternativa à substâncias tóxicas presentes nas técnicas convencionais de construção (SOARES, 2007).

Além da utilização de materiais naturais e locais, o que reduz custos de fabricação, transporte e consumo de energia, para Soares (2007), a bioconstrução é caracterizada pelo uso de tecnologias populares. Ideia reforçada por Carol Cantarino (2006), ao afirmar que o envolvimento do morador durante o processo construtivo é valorizado.

Para Krakhecke (2008), a capacitação em bioconstrução tem por objetivos o crescimento de técnicas construtivas de mínimo impacto ambiental. Sendo assim, a eficiência energética, o tratamento adequado de resíduos, uma arquitetura que harmoniza com o clima e o aproveitamento de técnicas populares devem estar presentes.

Em bioconstrução, a sustentabilidade se encaixa desde à concepção até o uso da edificação (CANTARINO, 2006). E mais, para Minke (2006) é considerado e analisado o ciclo de vida dos materiais: os processos pelos quais são submetidos, sua extração, manejo da matéria-prima, distâncias percorridas, durabilidade, degradação e reintegração, impactos à natureza e à saúde humana. Diante disso, escolhas conscientes e responsáveis são possíveis no âmbito ambiental e de preservação para futuras gerações. Bioconstrução é um sistema construtivo que respeita o meio ambiente em todas as etapas: de projeto e construção, devido os materiais e técnicas que serão adotadas, bem como durante o uso, relacionado a eficiência energética, tratamento adequado de resíduos e aproveitamento de água. Além disso, deve-se

pensar em questões locais e globais. No micro, em relação ao cuidado com a terra e à extração consciente dos recursos locais. Já no macro, a respeito da conscientização em relação ao consumo de insumos e energia (PROMPT, 2008).

Somado a isso, tem-se a Engenharia Ecológica que dialoga bem com as características e fundamentos da bioconstrução. Tal área, segundo Mitsch (1994), “é a ciência que cuida do projeto de ecossistemas e organizações humanas, para benefício de ambos”, a fim de promover a resiliência entre os ecossistemas a partir da combinação de conhecimentos científicos, técnicas e práticas. A origem do conceito se deu na década de 1960, entretanto, levou décadas de aperfeiçoamento e até hoje sua implementação é ajustada, atingindo reconhecimento mais amplo. Esse início se deu com trabalhos realizados por Howard Odum, ecologista estadunidense, a partir de modelagem ecológica e simulação de ecossistemas a fim de encontrar padrões de energia e fluxo de materiais que impactam o uso eficiente dos recursos naturais.

Mitsch e Jorgensen (1989) definem a Engenharia Ecológica como a elaboração serviços sociais que beneficiem a sociedade e a natureza, e, posteriormente, notam que o projeto deve ser baseado em sistemas, sustentável, e integrar a sociedade com o ambiente natural. Nas cidades, a Engenharia Ecológica foi aplicada com colaboração de outros campos como arquitetura de paisagem, planejamento urbano e horticultura urbana.

Práticas e técnicas antigas, muitas vezes negligenciadas pela Engenharia Civil, diante dos métodos construtivos pós Revolução Industrial, não são deixadas de lado na Engenharia Ecológica. Pelo contrário, os novos conhecimentos fornecidos pelas pesquisas e ciência são associados à tais práticas e, portanto, inovando-os, baseado na observação de mecanismos vivos. Uma vez que técnicas bioconstrutivas, de forma geral, são milenares ou centenárias, é possível, com avanço de pesquisas e tecnologias, garantir maior controle de qualidade nas obras que optam por esses métodos.

As técnicas da Engenharia Ecológica são bastante amplas. Podem e devem ser implementadas em relações com diversas atividades humanas, desde que ofereçam impactos sobre o ecossistema e seu funcionamento. Gerenciamento de áreas naturais, planejamento espacial, planejamento urbano, agricultura, atividade econômica são algumas dessas atividades. A Engenharia Ecológica indica soluções



COB, segundo o *Oxford English Dictionary* é um termo inglês atestado por volta do ano 1600 para um antigo material de construção usado desde os tempos pré-históricos. A etimologia não é clara, mas em vários sentidos significa bater ou golpear, que é como COB é aplicado a uma parede. Algumas das mais antigas estruturas feitas pelo homem no Afeganistão são compostas de taipa e COB. Foi usado no Maghreb e al-Andalus nos séculos XIX e XII, e foi descrito em detalhes por Ibn Khaldun no século XIV (RASHED, 2019).

Existem aproximadamente 20000 residências de COB no condado de Devon, na Inglaterra, as quais passam por 100 anos sem a necessidade de reparos. Apesar da qualidade do processo construtivo, com a chegada da indústria, tal método se tornou ultrapassado e primitivo. No entanto, devido à crise ambiental, o COB encontra-se como alternativa (SALAZAR, 2011). Na Figura 14, a seguir, está representada uma edificação em COB.

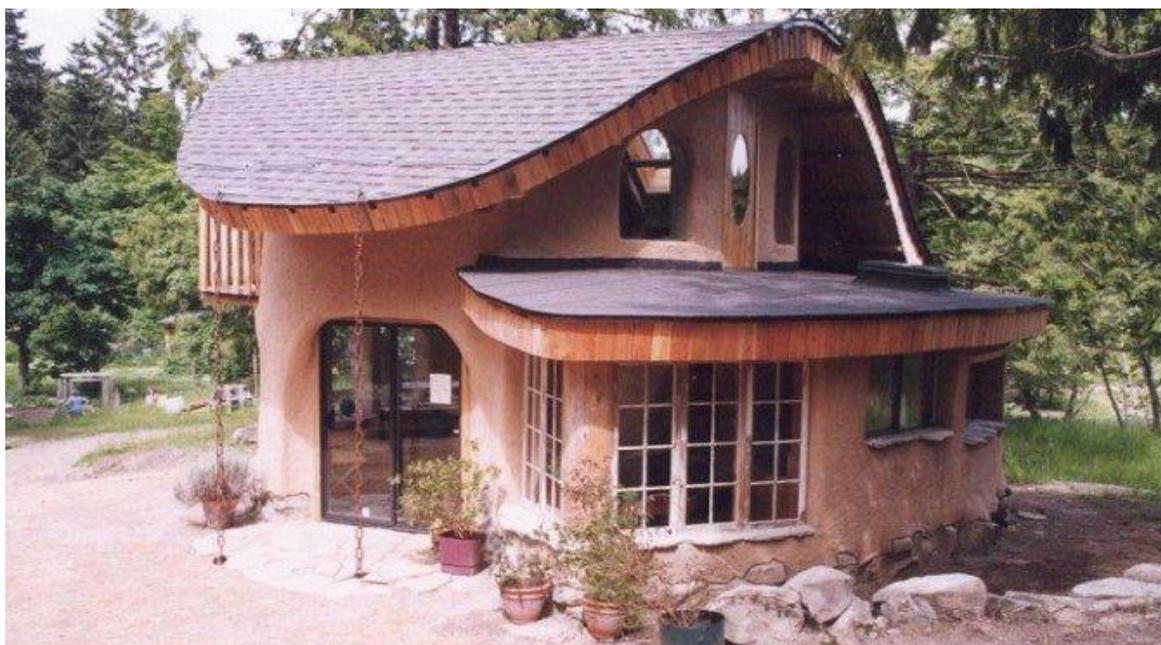


Figura 14 – Exemplo de construção em COB, localizada no Canadá (Disponível em: <<https://dicasdearquitetura.com.br/cob-casas-esculpidas-com-terra/>> Acesso em ago. 2019)

### 2.3.1.1 Estudo do local

Salazar (2011) indica os procedimentos e estudos que devem ser realizados para obter o melhor resultado em uma edificação em COB. A primeira etapa é a o estudo do local e do entorno. Quanto maior o conhecimento dos recursos do espaço, melhor será a seleção dos materiais e menor a intervenção no local. Somado a isso, as seguintes considerações devem ser levantadas:

1. Os **pontos cardeais** (que determinarão o movimento do Sol e, portanto, os pontos da edificação que serão mais quente, além do possível aproveitamento da energia solar e luz natural);
2. A **direção dos ventos** (auxiliam no projeto eficiente de ventilação da edificação, além de indicar a direção das chuvas e a viabilidade da instalação de um gerador eólico);
3. **Ponto de água**, como afluente (determinarão quais cuidados devem ser tomados e casos de enchentes);
4. A **geografia** (a planejamento deve respeitar o meio ambiente, portando, remoções desnecessárias de rochas devem ser evitadas); as árvores (a edificação deve estar protegida de possíveis quedas)
5. E por fim os **serviços** (água, eletricidade e esgoto, que serão associados à concepção do projeto) (SALAZAR, 2011).

### 2.3.1.2 Estudo dos materiais

Realizado o estudo do local, parte-se para o estudo dos materiais. Como já dito, os principais componentes das construções em COB são argila, areia, palha, madeira e rochas.

#### 2.3.1.2.1 Terra

Partindo das argilas, são facilmente encontradas abaixo da cobertura vegetal. As microscópicas partículas de minerais em sua composição atraem e retêm a água entre si, dando-lhes coesão, característica que define a resistência mecânica. Três

características das argilas são fundamentais para seu uso, as quais podem ser definidas a partir de ensaio tátil visual. O procedimento inclui:

- **Adesão** (ao umedecer uma porção de argila e formar pequena bola, ela não cairá caso a palma da mão seja voltada para baixo – teste representado na Figura 15, a seguir);
- **Elasticidade** (ao formar um pequeno bastão com a argila e o sujeitarmos em um dos extremos, não se romperá facilmente)
- **Dureza** (ao secar a argila, ou seja, retirar toda a porção de água retida, ela se apresentará com alta dureza e consistência). Em edificações em COB, o que mais importante é se as argilas são ou não expansivas. As expansivas são aquelas que retêm ou perdem água com muita facilidade, tornando-as instável como material de construção. A fim de avaliar tal propriedade, é necessário coletar e umedecer uma porção suficiente de argila para formar um bloco, deixa-lo secar naturalmente e observá-lo. Caso haja fissuras grandes e profundas, a argila é caracterizada como expansiva, portanto, não aptas para a construção. A principal função da argila na mistura do COB é de material cimentante. Devido a coesão, a argila irá unir os componentes da mistura, como uma espécie de argamassa (SALAZAR, 2011).



Figura 15 – Etapas do teste para avaliar a adesão da porção de solo.  
Trata-se de um teste tátil-visual. (Fonte: Autor)

Sobre a areia, tem-se que são materiais grossos, pesados e com pouca capacidade de reter água. É composta por rochas degradadas por fatores ambientais e apresentam diâmetros entre 0,08 e 5 mm. Apesar de secas não apresentarem coesão, proporcionam elevado atrito. As areias ideais para as construções em COB são as que os maiores grãos não ultrapassem 3,8 mm e de granulometria variada para que os espaços vazios na mistura sejam preenchidos. Nas estruturas de COB, a areia é responsável por proporcionar resistência à compressão, dando às paredes dureza e capacidade de suportar o peso. Outro ponto importante é a peneiração, que deve ser feita a fim de excluir os grãos maiores que os desejados (SALAZAR, 2011).

Um relatório, realizado pela PROTERRA (Rede Ibero-Americana de Arquitetura e Construção com Terra), em 2009, apresenta as propriedades mais importantes do solo para seu uso em construções de terra, além de possíveis adições de agentes estabilizadores, a fim de atingir características desejáveis. O trabalho também descreve os ensaios necessários, realizados a partir da NBR 6502 (Rochas e solos. Terminologia) (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009).

Os melhores solos para a Arquitetura e Construção com Terra estão localizados geralmente no chamado horizonte B (subsolo), camada do solo livre de matéria

orgânica. As propriedades que devem ser consideradas para tais aplicações são de seleção (composição granulométrica, plasticidade e retração) e de controle de execução (umidade e grau de compactação). A identificação do método construtivo mais adequado para cada tipo de terra pode ser definida a partir do resultado dos seguintes testes: testes do cordão e da fita, teste de exsudação e teste de resistência mecânica seca (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009).

O teste do cordão define qual é o tipo mais provável da terra a partir da avaliação da coesão e plasticidade, em determinada umidade. Para isso, toma-se uma porção de terra seca e acrescenta-se água até a umidade capaz de se um formar cordão que se rompa à 3 mm de diâmetro. Além disso, nessa mesma umidade, molda-se uma porção de terra em formato esférico e aplica força de esmagamento com os dedos indicador e polegar. Por fim, a avaliação das características e a definição do solo são feitas de acordo com as indicações da Tabela 3.

<b>Tipo de cordão</b>	<b>Ruptura da bola</b>	<b>Classificação e interpretação</b>
Duro	Só se pode quebrar a bola com muito esforço ou não se quebra	Demasiada argila; terra de alta plasticidade
Suave	Pouco resistente. Fissura e esmigalha facilmente	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
Frágil	Frágil. Não se pode remodelar a bola, devido à sua fragilidade	Bastante silte ou areia e pouca argila; baixa plasticidade
Suave e esponjoso	Esponjosa e suave. Se é comprimida, volta a esponjar-se	Solo orgânico. Não é apto para qualquer tipo de construção.

Tabela 3 – Avaliação dos resultados do teste do cordão (Fonte: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)

O teste da fita é realizado a partir de uma porção de terra com a mesma umidade do teste do cordão. Deve-se moldar a terra no formato de um cigarro comum, e, com os dedos indicador e polegar, amassar o cilindro no formato de fita, de 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível. Tal processo relaciona a plasticidade ao tipo de terra e indicados Tabela 4.

<b>Tipo de fita</b>	<b>Comportamento da fita</b>	<b>Classificação e interpretação</b>
Longa	É possível formar uma fita de 25 a 30 cm, sem dificuldade	Muita argila, terra de alta plasticidade
Curta	É possível formar uma fita de 5 a 10 cm, com dificuldade	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
	Não se faz a fita	Bastante silte ou areia e pouca argila; sem plasticidade

Tabela 4 – Avaliação do teste da fita (Fonte: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)

No teste de exsudação, toma-se uma porção de terra bastante úmida sobre a palma da mão. Deve-se golpear essa mão com a outra até que a água apareça na superfície da terra, dando-lhe aspecto liso e brilhante. A avaliação é feita de acordo com a Tabela 5 a seguir.

<b>Tipo de reação</b>	<b>Número de golpes</b>	<b>Efeitos na amostra</b>	<b>Classificação e interpretação</b>
Rápida	5 – 10	A água aflora à superfície da amostra; a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo	Pouca plasticidade. Areia fina inorgânica ou silte grosso inorgânico, terra arenosa ou siltosa
Lenta	20 – 30	A água aparece e desaparece lentamente; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha	Silte ligeiramente plástico ou silte argiloso
Muito lenta	mais de 30	Não há mudança notável	Terra de alta plasticidade. Argila

Tabela 5 – Avaliação do teste de exsudação (Fonte: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)

Por fim, o teste de resistência mecânica seca, que auxilia na definição do tipo de solo a partir da resistência. Na prática, moldam-se pastilhas de terra bastante úmida em formato cilíndrico (0,5 a 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro), e as deixam secar ao sol. Secas, deve-se aplicar força com os dedos indicador e polegar a fim de esmagar ou romper as pastilhas. A avaliação está indicada na Tabela 6 a seguir.

<b>resistência</b>	<b>Esforço de ruptura</b>	<b>Comportamento</b>	<b>Classificação e interpretação</b>
Grande	Resistente	Não se pulveriza	Solo inorgânico de alta plasticidade; argila
Média	Pouco resistente	É possível reduzir os pedaços a pó	Terra argilo-siltosa, terra argilo-arenosa ou areia argilosa. Se for argila orgânica, não usar
Pouca	Não resiste	Fácil desagregação	Falta de coesão. Solo arenoso, siltoso inorgânico ou outro com pouca argila

Tabela 6 – Avaliação do teste da resistência seca (Fonte: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)

A realização desses testes auxilia na definição do método construtivo mais adequado dentre tantas opções de construção com terra. Dessa forma, de acordo com o relatório, para estruturas monolíticas, categoria em que se enquadra as construções em COB, os solos mais adequados são identificados como argila com pedregulhos, argila arenosa ou argila siltosa. Tais identificações podem ser também através do teste do vidro, também realizado pelo relatório da PROTERRA. O teste do vidro, resumidamente, fundamenta-se na sedimentação diferenciada dos constituintes da terra, em recipiente cilíndrico de vidro, auxiliando na definição das proporções das partículas do solo em relação às dimensões dos grãos (argila, silte e areia). A Figura 16 e Figura 17, a seguir indicam o solo nos recipientes após a sedimentação e o diagrama para a caracterização do solo.

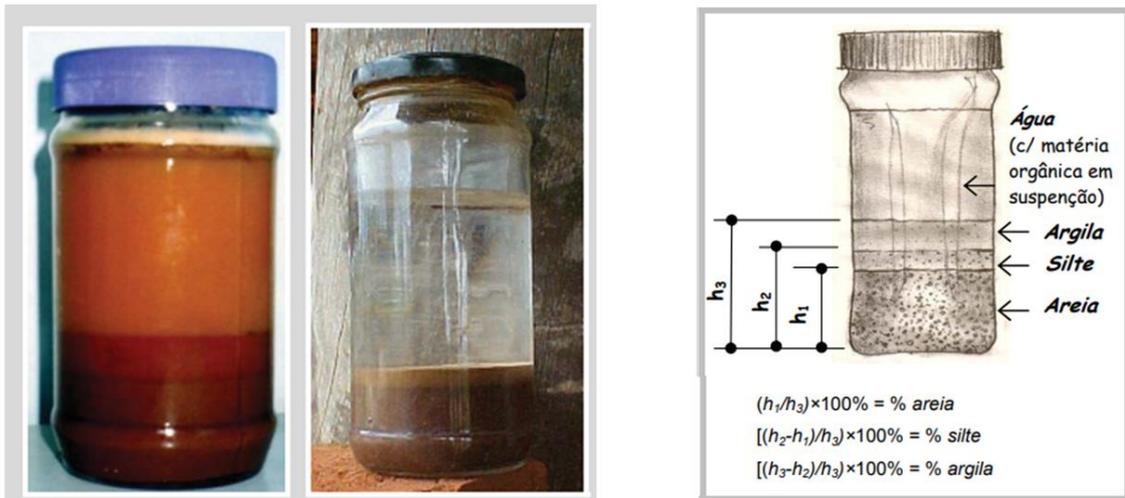


Figura 16 - À esquerda, o exemplo da imagem final após o processo de sedimentação. As partículas maiores (areia) depositam-se no fundo do recipiente, e as menores (silte e argila), em camadas superiores. À direita estão representados os cálculos das proporções das partículas em função da altura das camadas. (Fonte: (NEVES, FARIA, ROTONDARO, CEVALLOS, & HOFFMANN, 2009)

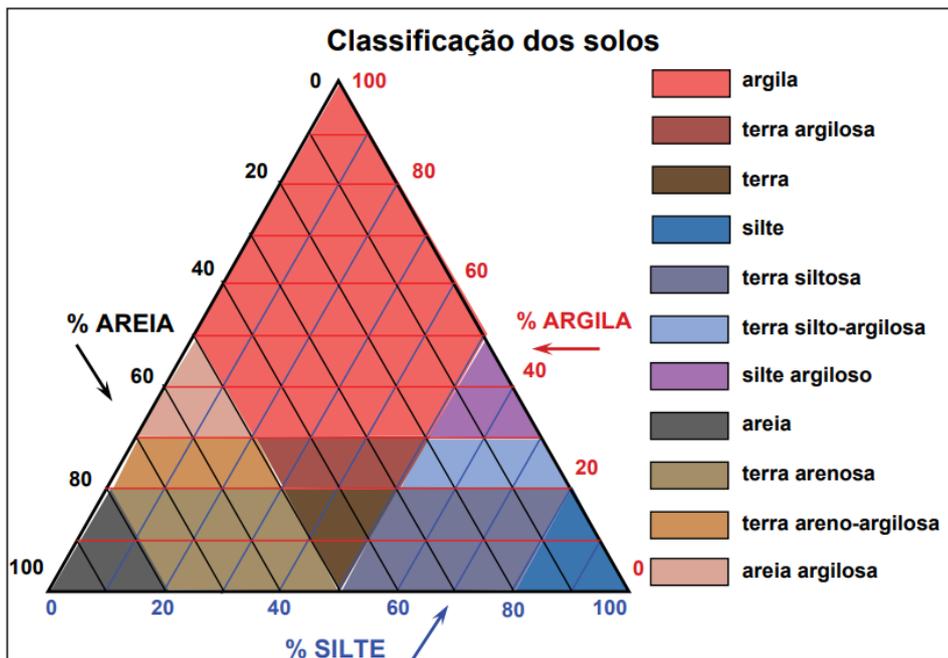


Figura 17 – Diagrama de classificação dos solos pelo teste do vidro em função da proporção de argila, silte e areia (Fonte: (adaptado de Aid at al (s/d) e Moran, 1984)

### **2.3.1.2.2 Fibra Vegetal**

Em relação à fibra vegetal utilizada na construção de COB, ela deve ser resistente, mas não excessivamente grossas, com diâmetros entre 2 e 4 mm a fim de não prejudicar o manuseio. O ideal é que já fresca e não exposta à umidade após cortada. A fibra, na mistura de COB, é responsável pela resistência à tração e distribuição homogênea das cargas e esforços que são submetidas a estrutura da residência, dando à estrutura um caráter monolítico. Assim como o aço presente no concreto armado, as fibras na mistura devem estar protegidas de agentes externos, como oxigênio e água, a fim de evitar a proliferação de microrganismos e aumentar a vida útil (SALAZAR, 2011).

### **2.3.1.2.3 Rochas, madeira e outros materiais**

As rochas presentes no local e extraídas nas escavações são importantes também, pois podem compor a fundação da estrutura (SALAZAR, 2011). As madeiras também são importantes para as estruturas, uma vez que podem ser utilizadas para compor as vigas e pilares, além das estruturas de telhado.

Somado a tais matérias, os recicláveis também entram nessa lista. Vidros, pedaços de cerâmica, borracha e restos de concreto podem ser utilizados livremente de acordo com a criatividade, já que o método construtivo permite. Na Figura 18 a seguir, tem-se o uso de garrafas de vidro para a entrada de iluminação natural, além de ser um toque decorativo (SALAZAR, 2011).



Figura 18 – Garrafas de vidro utilizadas em paredes de COB para decoração e pontos de iluminação (Disponível em < <http://www.sustentaacoes.com/2016/02/vamos-construir-um-mundo-melhor.html>> Acesso em ago. 2019)

### **2.3.1.2.3.1 O Bambu**

O bambu apresenta várias vantagens na construção civil, tanto por características físicas e propriedades do material como pela praticidade que proporciona. A facilidade de cultivo, a rapidez no crescimento, o ciclo mais curto que o da madeira e a alta produtividade por hectare tornam o bambu bastante acessível. E mais, pode ser cortado anualmente sem necessidade de replantio (GHAVAMI, 1992).

O bambu faz parte da família de plantas denominada gramínea. Dentre todas, é a planta que mais cresce rapidamente (de três a seis meses para o broto atingir sua altura máxima), além de ser predominante no clima tropical (FARRELY, 1984). Aliado a essas vantagens, outras características foram e são estudadas para a utilização de bambu na construção civil, por sua elevada resistência a diversos esforços e baixo peso específico, reduzindo custos de manuseio (GHAVAMI, 2006).

Ghavani e Marinho (2003) realização estudo com diversas espécies de bambus a fim de definir as propriedades físicas e mecânicas, bem como o módulo de resistência e tensão superficial. O estudo analisa resultados que viabilizam o uso do bambu industrialmente.

Um dos maiores desafios no manuseio de bambu em larga escala na construção civil é a definição das conexões estruturais. As mesmas conexões usadas para outros materiais como madeira e aço não são soluções para o bambu, pois não garante o máximo desempenho do material, ou seja, os esforços não são eficientemente transmitidos (PADOVAN, 2010).

A ÁSIA, devido à alta produtividade e uso do bambu, desenvolveram técnicas para o uso na construção civil, irrigação, móveis, instrumentos entre outros. Na América Latina atualmente, países como Colômbia, Venezuela e Peru estudam formas de se utilizar bambu na construção civil, além da possibilidade de trabalhar em conjunto com outros materiais. (CARBONARI e AL, 2017)

Um estudo realizado por Carbonari et al (2017) por meio de ensaios mecânicos com diversas espécies de bambu ajudam a viabilizar o uso do bambu na construção civil no Brasil. Nele, é avaliado as características mecânicas em relação aos esforços de tração, compressão, flexão e módulo de elasticidade no ensaio à compressão.

Importante ressaltar que as características físicas e mecânicas do bambu podem variar em função de diversos fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras e sua localização em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo de teste aplicado (GHAVAMI e MARINHO, 2005). Além disso deve-se considerar as irregularidades das dimensões da seção transversal, e definir se os esforços estão em sentido paralelo ou perpendicular às fibras do bambu (DUNKELBERG e AL, 1996).

Os ensaios foram realizados com os bambus das seguintes espécies: *Bambusa Nutans*, *Bambusa Beecheyana*, *Bambusa Vulgaris*, *Bambusa Oldhamiia*, *Bambusa Tulda*, *Guadua Angustifolia*, *Dendrocalamus Asper*, *Dendrocalamus Giganteus*, *Arundinaria Amabilis*. Os detalhes do corte, como o período do dia, o mês, a fase da lua, local de corte, entre outros importantes, garantiu o afastamento de carunchos e outros insetos indesejáveis, além de evitar o acúmulo de águas nos entrenós dos bambus, o que poderia causar contaminação.

Os ensaios foram realizados a partir da norma internacional ISO/TC165 N314 (1999), uma vez que não há normatização nacional sobre o assunto

- **Compressão (paralela às fibras do bambu):** Para cada espécie foram realizados 3 corpos de prova, cada um correspondente à posição no colmo, seja, se foi retirado da base, do meio ou do topo do bambu. A resistência à compressão, entre as espécies ensaiadas, variou bastante, sendo a mínima de 38 Mpa e a máxima de 75 Mpa. Entretanto, a relação entre essa resistência e a massa específica é maior em todas as espécies quando comparadas com a mesma relação do concreto e aço, apresentando melhor desempenho (Gráfico 2).

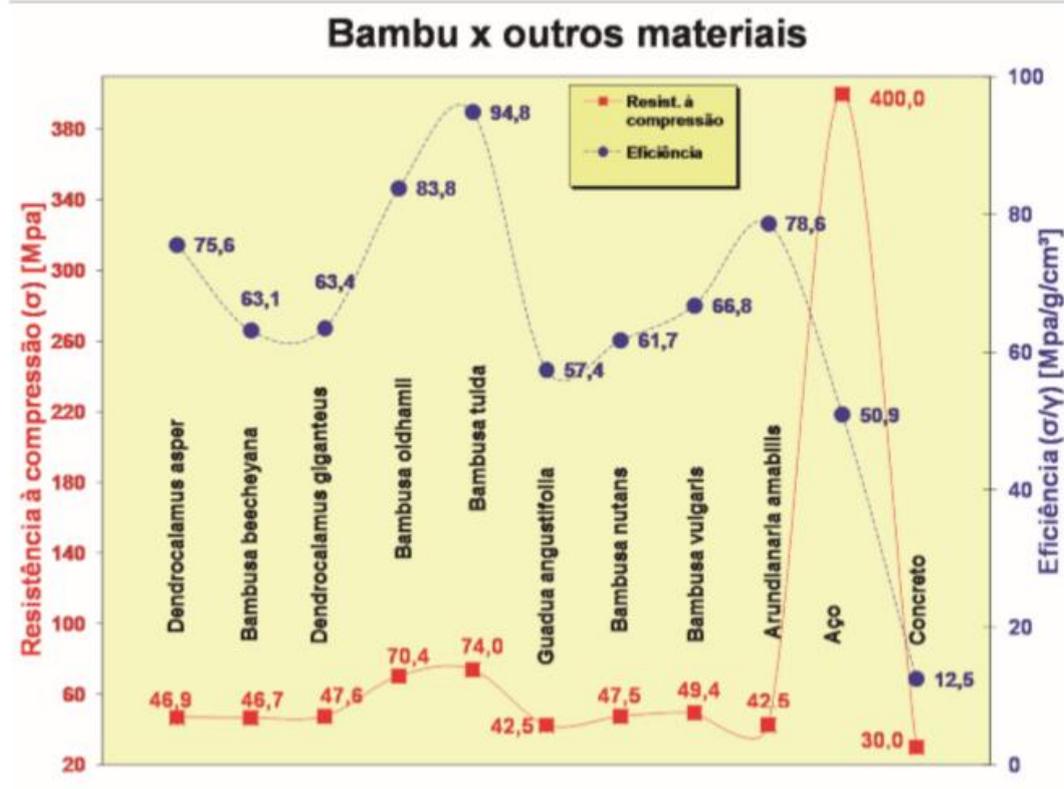


Gráfico 2 – Resistência à compressão de algumas espécies de bambu comparada à resistência do aço e concreto. (Fonte Carbonari et al, 2017)

- Tração (paralela às fibras):** Os corpos de prova nesse ensaio foram cilindros de bambu de 20 cm de altura, com e sem nó, retirados a cada 2 metros. É observado diminuição da resistência na parede interna do bambu, devido a quantidade inferior de fibras. A comparação com o desempenho do aço é feita a partir da média das resistências da parede interna e externa do bambu. A relação da resistência à tração com a massa específica apresentaram-se de 4 a 5 vezes maior que a do aço (Tabela 7).

Material	fT (MPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	fT / $\rho$
Dendrocalamus Giganteus	119	0,75	159
Bambusa Oldhamii	106	0,84	126
Bambusa Tulda	125	0,78	160
Bambusa Nutans	102	0,77	132
Aço	250	7,85	32

Tabela 7 – Resistência à tração de algumas espécies de bambu. Comparativo com o aço (Fonte: Carbonari et al, 2017)

- **Flexão:** A análise do bambu a respeito dessa solicitação é feita a partir dos diagramas carga x deslocamento, possibilitando definir a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade à flexão. O ensaio aplicou uma carga pontual na extremidade do bambu em situação de engaste livre. Carbonari et al (2017) verificou duas espécies de bambus, *Dendrocalamus Giganteus* e *Bambusa Nutans*, e afirma que, para conclusões mais precisas, são necessários vários ensaios, mas conclui que os bambus apresentaram alta resistência aliada à alta flexibilidade.
- **Módulo de Elasticidade no ensaio à compressão:** Carbonari et al (2017) utilizou a mesma metodologia do ensaio de resistência à compressão. Os nós do bambu não afetaram significativamente o valor do módulo de elasticidade, que obteve valores entre 20 e 24 GPa, superior ao da madeira, próximo ao concreto e muito inferior ao aço.

No Brasil, as espécies de bambu que são mais encontradas e recomendadas para uso construtivo são *Bambusa vulgaris*; *Dendrocalamus giganteus*; *Bambusa tuldoides* e *Bambusa arundinacea*. Outra espécie com maior ocorrência na região Norte do Brasil com grande potencial construtivo é a *Gradua angustifolia*. No entanto é pouco conhecida no país (FILHO e BARBOSA, 1990).

Tradicionalmente, tem-se o uso de bambus com diversos tipos de entalhes ou cortes. As conexões são feitas geralmente por meio de amarrações (Figura 19) ou apenas encaixes, o que deixa a estrutura flexível e leve, com grande absorção da

energia sísmica (DUNKELBERG e AL, 1996). Além disso, apoios são elevados do solo aproximadamente 50 cm a fim de evitar agente patógenos. São compostos por colmos mais robustos (JAYANETTI e FOLLETT, 1998).

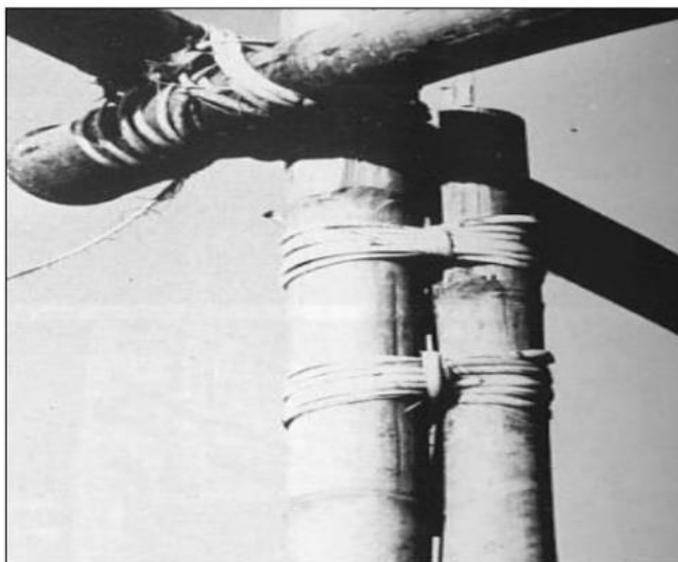


Figura 19 – Detalhe das amarrações de uma estrutura de bambu (Fonte: Dulkelberg, 1996)

Atualmente, os métodos construtivos com bambu utilizam técnicas tradicionais com adendos de novas tecnologias, baseada em cálculos e normas científicas. Os apoios podem ser feitos em estruturas de concreto de acordo com as necessidades do projeto, simplesmente apoiados (JAYANETTI e FOLLETT, 1998). A ligação ente o bambu e a sapata da fundação e feita com concreto e armadura de aço na parte interna do bambu, base do colmo (Figura 20). As conexões de vigas e pilares avançam

garantindo melhor transferência de esforços, feitas com parafusos de fixação e por esperas metálicas.

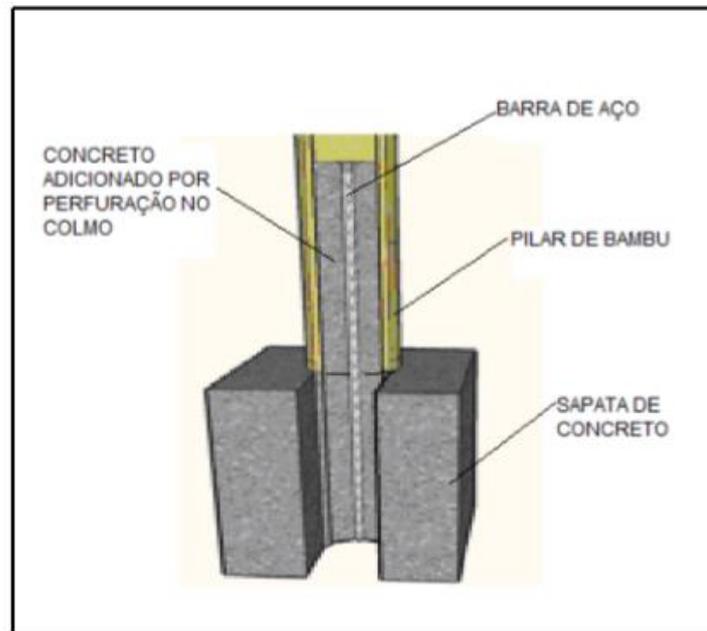


Figura 20 – Sistema de apoio com incorporação do pilar de bambu à sapata de concreto (Fonte: Marçal, 2008)

### 2.3.1.3 Propriedades estruturais do COB

A estrutura de uma edificação em COB pode ser suficiente sem o uso de pórticos e ancoragens, se o design das paredes apresentarem um desenvolvimento curvilíneo, pois as cargas serão distribuídas homogeneamente em uma única peça monolítica. Esta estrutura atinge elevada resistência após a secagem e é análoga a estruturas de concreto armado, devido à composição: 60% de areia (elemento resistente da mistura, que fornece a dureza necessária para uma boa resistência à compressão), 40% de argila (elemento que substitui o cimento, funciona como um material de ligação) e a fibra vegetal (exerce uma função semelhante à do aço no concreto armado. É protegido da biodegradação (assim como do ferro oxidado), sendo agarrado pela terra sem contato direto com o ar. É o elemento que funciona por tração) (SALAZAR, 2011).

Além disso, a estrutura de COB também pode ser associada aos pórticos (vigas e colunas). Se for o caso, o ideal que tais estruturas sejam feitas também de materiais naturais (perfis e hastes de madeira) para melhor aderência (SALAZAR, 2011).

A utilização do COB em níveis mundiais e sua recuperação como técnica construtiva levaram especialistas a padrões relacionados à espessura das paredes, dimensões máximas, considerações construtivas, processo construtivo, tempo de elaboração, fundações, telhados etc.

Sobre as paredes, elas apresentam seção de geometria trapezoidal (Figura 21). As bases são mais alargadas, e no topo a espessura mínima de 25 cm. Além disso, as paredes são levantadas em camadas de 30 centímetros, e a cada 90 centímetros de altura que a parede de COB atingir, deve-se adicionar 5 cm. A espessura da base da parede é função da altura (h) da mesma e é definida pela expressão:

$$Base = \frac{5h}{90} + 25 \text{ (em centímetros)}$$

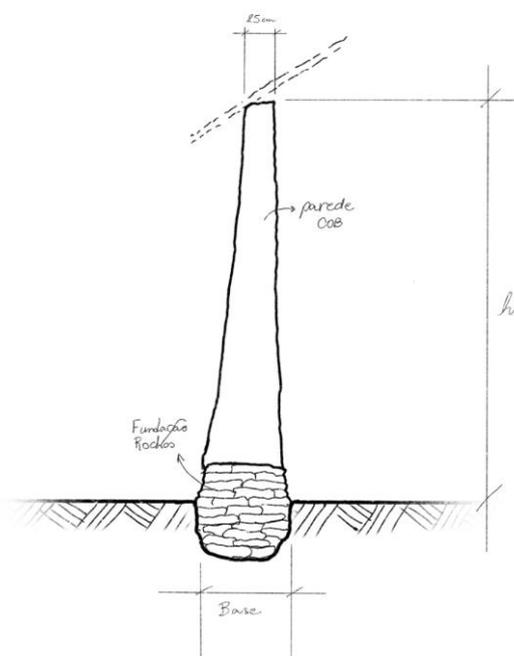


Figura 21 – Geometria da parede de COB. Nota-se a geometria trapezoidal. Nota-se o início da parede acima do nível, evitando infiltração pelo solo. Na figura, a fundação representada é composta por rochas (Fonte: Autor)

Ainda sobre as paredes, existem restrições quanto à largura. A cada 5 ou 6 metros, é necessário um elemento vertical, geralmente composto por troncos de madeira. Como as estruturas em COB trabalham monoliticamente, muitos preferem por geometrias arredondadas, principalmente nos vértices (SALAZAR, 2011).

Uma vez que as construções em COB não demandam tecnologias sofisticadas e não se enquadram em processos industriais, é ideal para a participação da comunidade no processo construtivo (autoconstrução). Essa consideração construtiva é fundamental nas construções em COB e também em outros processos bioconstrutivos. Por ser um processo artesanal, muitas etapas são feitas com as próprias mãos, desde a mistura dos materiais até a moldagem das paredes. No entanto o processo de mistura pode ser agilizado com a utilização de betoneiras (misturador), sendo assim, equipes podem trabalhar simultaneamente em diferentes etapas da construção.

Quanto à fundação, podem ser feitas por processos convencionais da construção civil, como o concreto armado. No entanto, tal questão estrutural pode ser composta também por elementos naturais, mais baratos e de menor impacto, as rochas. A aderência entre as rochas e a parede de COB acima é feita com uma mescla de argila e água. As fundações devem atingir, no mínimo, 30 centímetros acima do nível do terreno, a fim de proteger a estrutura da humidade. Além disso, para uma proteção eficiente, deve-se pensar na drenagem das áreas periféricas (SALAZAR, 2011). Tais considerações estão indicadas na Figura 22 a seguir.

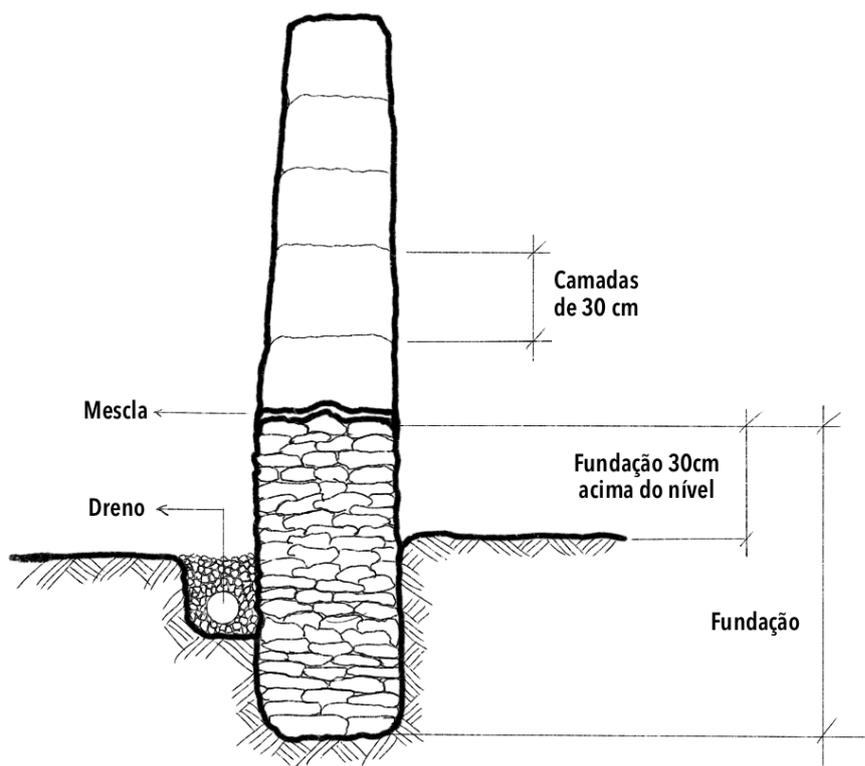


Figura 22 – Esquema das considerações para a fundação das estruturas em COB. Além da necessidade de dreno nas periferias das paredes, mescla de adesão entre fundação e parede e alturas das camadas. (Fonte: Autor)

Os telhados das construções em COB também devem ser feitos com materiais naturais. O bambu é muito estudado e utilizado nessa etapa do projeto. Assim como os telhados, a pintura também deve ser com materiais naturais, uma vez que materiais industrializados não aderem bem sobre a terra crua e trabalham com diferentes coeficientes de elasticidade. A umidade pode ficar presa nas paredes caso o acabamento seja feito com tintas a base de óleo ou látex. Opta-se, portanto, pelo uso da cal branca (SALAZAR, 2011). Além disso, as tintas feitas com solos são ótimas alternativas para o acabamento das paredes e é possível produzi-las com solos (devidamente coletado e preparado), água e cola branca (para a adesão). Tal mistura pode ser usada tanto em ambientes internos como externos (CARVALHO, 2009).

#### **2.3.1.4 Anteprojeto**

Na fase de anteprojeto, a imaginação é livre e o contato com a natureza é fundamental. Uma vez que as estruturas em COB são erguidas com materiais naturais, é a própria natureza que dará a resposta para a escolha das formas, cores e texturas do projeto. Deve-se definir quais sentimentos a construção irá emanar. A simplicidade é fundamental para a otimização e redução de materiais utilizados. Além disso, o mobiliário da edificação também pode ser embutido nas estruturas de COB e devem ser pensados previamente (SALAZAR, 2011).

#### **2.3.1.5 Serviços**

Apesar do COB ser um método construtivo antigo e primitivo, é possível aplicar perfeitamente os serviços básicos que os usuários demandarão, desde que haja o planejamento prévio das localizações das tubulações e caixas embutidas. Dessa forma, tem-se uma construção ecológica e confortável. Dentre os serviços, destaca-se a água, esgoto, eletricidade, iluminação e gás.

A água é um dos serviços mais importantes de uma edificação. No planejamento, é fundamental o conhecimento da existência ou não do serviço, se é constante, e se a pressão é suficiente no local do projeto. Além disso, pode ser acoplado sistemas de captação de águas pluviais.

O esgoto é outro ponto importante, já que é composto por águas que são fontes de poluição e devem ser direcionadas ao sistema de esgoto da cidade. Caso não haja serviço de captação de esgoto no local, é fundamental a implantação de fossa séptica (SALAZAR, 2011), que é responsável pela remoção de materiais flutuantes e materiais pesados do efluente (SPERLING, 2007).

Sobre eletricidade, é um dos serviços mais utilizados nas edificações. Na ausência, existem alternativas que podem ser adicionadas ao projeto. Destaca-se a gerador de gás, placas fotovoltaicas e o gerador eólico.

O serviço de gás pode parecer dispensável já que em muitos locais faz-se o uso da lenha. No entanto, é necessário a existência de locais para a coleta e estocagem. Uma alternativa é o biodigestor, que se alimenta de resíduos orgânicos e

produz biogás, o que tornará a edificação mais sustentável e autossuficiente (SALAZAR, 2011).

### **2.3.1.6 Projeto**

Diante dos vários aspectos que compõe uma construção em COB, parte-se para o projeto em si. As plantas e esboços são fundamentais para a avaliação da edificação com antecedência e previsão de futuros erros. Deve-se representar as fundações, drenagem pluvial, serviços, portas, janelas, colunas, vigas, estruturas de telhado etc., e sempre que possível, com auxílio de especialistas da área. E mais, a decoração também deve ser planejada nas plantas uma vez que podem ser esculpidas em COB, paralelas ao levantamento das paredes.

### **2.3.1.7 Ferramentas**

Como ferramentas de execução, tem-se o corpo e a energia dos responsáveis pela construção como a principal delas, o que dá ao método o caráter tradicional, econômico, de baixo impacto e também terapêutico. Os pés e as mãos são ferramentas de trabalho e, em uma espécie de dança, os pés e o peso do corpo auxiliam a mescla (areia, argila e fibra vegetal) a encontrar o seu ponto ideal. O corpo movimenta-se a fim de expulsar o ar e alcançar a compactação ideal. Dessa forma, a mistura pode ser transportada e unida umas às outras formando as paredes, também esculpidas com as mãos e o corpo. Tal condição de trabalho gera uma transmissão direta de energia do corpo individual às paredes. Pode-se dizer que a casa se torna uma extensão das pessoas que participam do processo. É um elemento vivo através do qual a energia vital flui (SALAZAR, 2011).

Outras ferramentas, além do corpo, são fundamentais para o sucesso do trabalho. Malhas de 3 mm são utilizadas para separar as areias das pedras. Lâminas de ponta serão necessárias para a escavação, e as chatas para a mistura. Lona de plástico, que seja resistente à água, choques, peso e o clima, pois serão a base para o preparo da mescla, e também para proteger as paredes já moldadas das chuvas. Facões e amoladores para o corte das fibras vegetais. Tambores para o

armazenamento de água. Carriolas para auxiliar nos transportes. Troncos de madeira podem ser utilizados compactar a mescla. Marretas para auxiliar nas formas. Escadas são importantes, uma vez que as paredes atingem alturas mais elevadas. Nível, linha de prumo e quadrado para precisões. Além de ferramentas de segurança e proteção como luvas, botas grossas, chapéu, capacete, repelente e água potável.

### **2.3.1.8 Custo**

Sobre custos de uma edificação de COB é difícil definir pois depende dos recursos que a região oferece, além de ser possível utilizar outras ferramentas para a otimização dos processos. No entanto, estima-se que o valor da obra é reduzido entre 70 e 80 por cento quando comparada à construção por meio de técnicas convencionais (SALAZAR, 2011).

## **2.4 Eficiência Energética**

Atualmente a necessidade para manter os níveis de vida e conforto é inerente ao alto consumo de energia. Entretanto, deve existir a preocupação na busca de reduzir o consumo, já que está ligado às alterações no meio ambiente. Diante disso, a busca por estratégias responsáveis e conscientes a fim de reduzir os impactos ambientais são fundamentais para que as futuras gerações possam manter seus níveis de vida e conforto também (MARTÍNEZ e GÓMEZ, 2006).

O consumo energético na construção civil está presente antes do início da obra. Na escolha dos materiais, por exemplo, é fundamental a avaliação dos impactos. Uma vez que a produção de insumos, principalmente os utilizados em métodos construtivos convencionais, envolve elevados gastos energéticos e emissão de gases do efeito estufa, a escolha dos materiais pode reduzir os impactos (TAVARES, 2006).

Para o consumo de energia, o aproveitamento de iluminação e ventilação natural é uma das alternativas. Os princípios bioclimáticos auxiliam na efetividade ao se escolher a forma da habitação, a disposição dos espaços e orientação de acordo com as características do local (clima, ventos, radiação, topografia etc.). A otimização da radiação solar permite aumentar a autonomia da edificação e reduzir o consumo

de energia. As pontes térmicas auxiliam na escolha de estratégias a fim de aumentar o isolamento térmico da habitação. A ventilação e iluminação natural são fatores que, quando estudados e avaliados, permitem estratégias para a redução significativa do consumo (MARTÍNEZ e GÓMEZ, 2006).

Para um planejamento sustentável em termos energéticos, a integração de energias renováveis às edificações é indispensável. Tal integração pode ser feita por meio de tecnologias que existem há algumas décadas e outras que surgem atualmente com os avanços em pesquisa sobre o assunto. Alguns exemplos dessas estratégias são: uso de energia solar térmica (no aquecimento de águas sanitárias) e energia solar fotovoltaica (na transformação da energia solar em energia elétrica por meio de semicondutores composto por silício) (MARTÍNEZ e GÓMEZ, 2006).

## **2.5 Gestão de água**

Assim como a energia é fundamental para a vida e conforto das pessoas, a água é vital. No entanto, da mesma forma que outras heranças do nosso planeta estão ameaçadas, a água, diante do consumo em excesso, é assunto preocupante em relação a sua contaminação e escassez uma vez que as reservas de água útil são limitadas (DOWBOR, 2005).

A gestão e economia de água na construção civil deve ser encarada, assim como o consumo energético, desde a concepção do projeto. Na escolha dos materiais e métodos construtivos para determinada obra, o conceito de pegada hídrica, ou seja, a quantidade de água necessária para a produção de algum bem ou serviço (SILVA, ALEIXO, *et al.*, 2013), se encaixa. Uma vez que a sustentabilidade, unida à bioconstrução, é a bandeira levantada, as opções que consomem menores quantidades de água, desde a produção, são as desejáveis (MINKE, 2006).

Tratando agora do consumo de água após a concepção de projeto, a gestão de água pode ser realizada através do reuso e captação. Segundo Setti (1995), reuso é dado pelo aproveitamento de águas já utilizadas para atender às necessidades de outros usos. Diante dessa alternativa, deve-se analisar quais os fins da água reutilizada, pois cada um está relacionado à específicas características do fluido em relação a qualidade e aos riscos à saúde (ESCALERA, 1995).

Uma vez que existem diversas oportunidades de reutilização, deve-se incentivar tais técnicas, principalmente as relacionadas ao reuso de águas cinzas, ou seja, esgoto secundário de banheiros (SANTOS e MANCUSO, 2003). No entanto águas cinzas são aquelas provenientes também do uso de chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha em residências, escritórios comerciais, escolas, etc (NOLDE, 1999).

Para a elaboração de sistemas de reuso de água, deve-se realizar um planejamento. A primeira etapa é avaliar o tratamento do esgoto e a necessidade de disposição, com o objetivo de estudar a quantidade de esgoto disponível e opções de disposição. Em seguida, avalia-se o abastecimento e a demanda de água, que responde qual é o uso predominante. Deve-se também identificar qual o mercado para a água recuperada, indicando o potencial usuário, a quantidade de água para tal uso e requisitos de qualidade. Feito isso, recomenda-se administrar a engenharia e fazer análise econômica, a fim de determinar as necessidades de tratamento e distribuição de sistemas para os usuários. Por fim, desenvolve-se o plano de implementação do sistema (ASANO, 1998).

Outra forma consciente e sustentável na gestão dos recursos hídricos é a captação de águas pluviais. No entanto, também devem ser avaliados a qualidade e os riscos à saúde em função da finalidade da água captada. A qualidade varia de acordo com o local. Em centros urbanos e polos industriais, a água pode apresentar poluentes, necessitando tratamentos especiais (GOULD e NISSEN-PETERSEN, 1999).

## **2.6 Tratamento de resíduos**

O destino dos resíduos sólidos, principalmente domésticos, é uma preocupação mundial. O grande desafio do processo é minimizar os impactos ambientais, ou seja, deve-se estudar a melhor forma para que o despejo seja ambientalmente seguro. As prioridades são a redução dos resíduos gerados e a maximização do reaproveitamento, da coleta seletiva, e da reciclagem com inclusão socioproductiva de catadores e participação da sociedade, a compostagem e a recuperação da energia (JACOBI e BESEN, 2011).

A gestão e o despejo equivocado de resíduos sólidos causam tanto impactos ambientais como sociais. A degradação do solo, contaminação das águas, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final são alguns desses impactos (BRASEL e AL, 2010).

As fontes dos resíduos domésticos são residências, edifícios, empresas e escolas. Tem-se como resíduos sobras de alimentos, produtos deteriorados, lixo de banheiro, embalagens de papel, vidro, metal, plástico, isopor, longa vida, pilhas, eletrônicos, baterias, fraudas e outros. Como tratamento e disposição final, as opções são os aterros sanitários, central de triagem de recicláveis, central de compostagem e lixão (CETESB, 2010).

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil é definida na Política Nacional de Saneamento Básico, Lei n. 11.445, de 2007, no qual deve dialogar com os planos municipais de saneamento (PNSB) e com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS propõe a atenção ao ciclo de vida dos produtos, a preservação, precaução, redução, reutilização e reciclagem, metas de redução de disposição final de resíduos em aterros sanitários e, caso realizada nesses locais, que seja ambientalmente adequada.

Um ponto importante na gestão de resíduos, e com viés socioambiental, é a inserção de organizações de catadores. Dessa forma, além do fortalecimento dessas organizações, novos centros de estocagem e comercialização são criados. A PNRS prevê, por meio de regulamentos, implementação de programa a fim de melhorar as condições de trabalho e a inclusão social e econômica dos catadores (JACOBI e BESEN, 2011).

Em relação ao lixo orgânico, tem-se que 60% do lixo urbano se enquadra nessa categoria, com possibilidade de tratamento a fim de torna-los fortes nutrientes para as plantas. A compostagem, diante disso, é uma ferramenta simples e sustentável para tal tipo de resíduo. A partir da seleção e armazenamento corretos do lixo orgânico, é possível transformá-lo em adubo, melhorando as características físicas, físico-químicas e biológicas do solo. Além de uma alternativa sustentável, evitando o

despejo desses resíduos em aterros, a compostagem é capaz de reduzir o uso de fertilizantes químicos na agricultura (OLIVEIRA, AQUINO e NETO, 2005).

## **2.7 Tecnologias construtivas e Ecotécnicas**

Ao se tratar de planejamento de espaços, existem tecnologias construtivas que podem ser implementadas por meio de Ecotécnicas, na execução do projeto, ou mesmo em locais já construídos. Tais tecnologias têm como objetivo geral reduzir os impactos gerado ao longo da vida útil da edificação e as atividades e necessidades humanas presentes nesses espaços.

Pereira (2010) reúne Ecotécnicas implementadas em um espaço educacional a fim de torná-lo sustentável e que promova Educação Ambiental. O Laboratório de Educação Ambiental (LEA - Coordenado pela professora Dulce Maria Pereira), na Universidade Federal de Ouro Preto, reuniu, em 2016, passo a passo para a execução das Ecotécnicas em um manual condensado. Algumas dessas Ecotécnicas estão numeradas a seguir:

1. Conforto Visual (Iluminação);
2. Conforto Térmico (Ventilação Natural);
3. Telhado Verde
4. Captação de água da chuva
5. Energia Fotovoltaica
6. Biodigestor
7. Tinta de solo

## 2.7.1 Conforto Visual e Térmico (Iluminação e ventilação natural)

### ILUMINAÇÃO

Diante de diversas formas de se garantir o conforto visual de um espaço, tem-se a iluminação como elemento que pode enfatizar as relações interpessoais em determinado espaço. O conforto visual abrange outros conhecimentos, como a psicologia, e é julgado através dos conceitos de sensação e percepção. Segundo Batiz et al (2008), a percepção apresenta um papel importante na vida dos indivíduos, pois é por meio dela que o se atribui significados às coisas, ações e feitos. Hall (1981), afirma que a percepção humana está diretamente relacionada ao sentido da visão. Já Rodriguez e Delgado (1998) relacionam a percepção humana à outros sentidos e estímulos, além da visão.

A iluminação, além de ser fundamental para o conforto, orientação e execução da tarefa em um ambiente, é responsável por parte da percepção do ambiente. O excesso, falta ou defeitos na iluminação dos espaços podem afetar as pessoas, principalmente as que apresentam mobilidade reduzida e deficiência visual. Para Fresteiro (2010), geralmente a iluminação de um espaço segue normas pensadas nas necessidades das pessoas com visão normal e sem limitações de mobilidade, fugindo do uso da iluminação para a sinalização correta de obstáculos do espaço.

A iluminação de um espaço associado a outros elementos do ambiente (cores, combinações, texturas etc.) tem como função indicar e orientar o deslocamento dos usuários, possibilitando que as atividades sejam executadas com conforto e rendimento. Krause (2002) indica fatores que tornam a iluminação de um espaço ineficiente. Destacam-se o não aproveitamento de iluminação natural, o uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa, hábitos inadequados e ausência de manutenção.

O planejamento do aproveitamento da luz natural deve ser bastante pensado, pois pode acontecer situações de desconforto visual, devido a constantes variações da luz (em função de condições meteorológicas, de diferentes momentos do dia e do ano). Em dias muito claros, por exemplo, pode apresentar inconvenientes como ofuscamento e sombras, causando desconforto (FRESTEIRO, 2002). De qualquer

forma, o aproveitamento da luz natural deve existir, suplementando-a com iluminação artificial sempre que necessário.

## **VENTILAÇÃO NATURAL**

A ventilação é outra ferramenta que estabelece conforto aos usuários de determinada edificação, possibilitando o conforto térmico. A ventilação natural entra como ferramenta bioclimática para garantir a qualidade do espaço, através da renovação do ar. Essa renovação colabora na manutenção da saúde e higiene dos usuários e deve ser estimulada quando há pequenas áreas livres entre o meio externo e interno. Tem como objetivo a remoção e diluição de gases, de odores e dos particulados resultantes das atividades humanas e equipamentos, além de melhorar a qualidade ambiental.

A remoção de calor através da renovação de ar influencia a sensação de conforto. Considerando que o meio possui temperatura inferior ao do corpo, pois facilita a perda de calor para o meio e favorece a evaporação do suor. Em clima quente e úmido, a convecção é positiva pois, nessas regiões, a umidade do ar dificulta o processo de evaporação do suor.

A ventilação natural pode ser garantida, basicamente de duas formas. Através do fluxo de ar gerado pelo gradiente vertical de temperatura, chamado “efeito chaminé”. A utilização dos espaços (ocupação, atividades e equipamentos) geram calor. Dessa forma, a temperatura eleva-se e a densidade do ar é reduzida, deslocando a massa de ar para região superior do ambiente. Aberturas em posições e altura distintas garante a entrada do calor externo e a saída do calor interno. Entretanto, esse efeito torna-se inexpressivo em regiões quentes e úmidas, onde a diferença de calor interno e externo são menores e ventilação abundante, pois a pressão dos ventos sobre as fachadas é maior que a pressão exercida pela diferença de densidade do ar interno (TOLEDO, 1999).

Outra forma de se garantir a ventilação natural é por pressão dos ventos, através das diferentes pressões do ar nas aberturas. A ventilação pode ser unilateral ou cruzada, em função da quantidade e disposição das aberturas. A primeira acontece quando as aberturas estão dispostas em paralelo (mesma direção). Nesse modelo, a

captação e remoção de ar acontece na mesma abertura. Devido à ausência de uma abertura para expulsão de ar, dificulta renova-lo. Dessa forma, a percepção do conforto é reduzida ao se afastar das aberturas (KLEIVEN, 2003).

A ventilação cruzada ocorre quando as aberturas estão dispostas em paredes distintas e, de preferência, opostas. É denominada cruzada direta quando as aberturas estão voltadas para o meio externo, e indireta quando dão acesso à outro ambiente interno. Uma vez que o vento circula por uma quantidade maior de ambientes internos até chegar ao externo, há perda de carga e a intensidade do escoamento se reduz. Além disso, o fracionamento de aberturas, a forma e o tipo de esquadria e o leiaute interno podem também prejudicar a intensidade do fluxo. A porta pode ser uma abertura de saída de ar, porém pode não ser conveniente, quando se deseja privacidade.

## **2.7.2 Telhado Verde e captação de água da chuva**

### **TELHADO VERDE**

O crescimento urbano, as edificações e infraestruturas urbanas alteram a cobertura do solo e a topografia, somados aos impactos aos ecossistemas terrestres e aquáticos. Diante disso, formam-se ilhas de calor, efeito da substituição das áreas verdes por superfícies de concreto e asfalto, que absorvem e retêm o calor por mais tempo (ROCHA, SOUZA e CASTILHO, 2011).

O aumento das superfícies impermeáveis reduz a infiltração das águas pluviais e a taxa de evapotranspiração, além de elimina os caminhos naturais de escoamento. O volume de água pluviais que escoam superficialmente aumentam e, portanto, enchentes são provocadas (PINTO, 2007).

A introdução de sistemas de drenagem em ambientes urbanos pode ser eficiente na captação e afastamento das águas pluviais. No entanto, os impactos do aumento de escoamento superficial não são resolvidos, são transferidos para regiões que se encontram a jusante, portanto, insustentável. Além disso, o aumento de novas áreas impermeabilizadas, novas obras e ampliações são necessárias nos sistemas de drenagem. E mais, a condução do escoamento à um corpo hídrico receptor ignora

a passagem por áreas com potencial de infiltração e conexão com planícies de inundação, eficientes na remoção de poluentes (KAUSHAL, 2008).

Os telhados verdes (Figura 23) são excelentes ferramentas sustentáveis para a gestão das águas pluviais. A prática confere múltiplos benefícios como a significativa melhora da qualidade ambiental e inibição das zonas de calor (ROSENZWEIG, GAFFIN e PARSHALL, 2006). Além disso, os telhados verdes sequestram os poluentes, aumentando a biodiversidade e habitats perdidos pela urbanização. O controle do escoamento atua tanto na vegetação quanto no substrato de solo, através dos processos de interceptação, armazenamento de água e evapotranspiração (YANG, YU e GONG, 2008).



Figura 23 – Esquema de telhado verde, técnica que ajuda no aumento das áreas permeáveis e redução das ilhas de calor (Disponível em <<https://www.inovagreen.com.br/telhadoverde.html>>

Acesso em set. 2019)

A estrutura do telhado verde, de modo geral, é composta pelos seguintes elementos, também indicados na Figura 24:

1. **Camada de vegetação:** Atua interceptando uma parcela da chuva, além de retardar o escoamento superficial, que só ocorre após a saturação do solo. Utiliza-se vegetações adequadas às condições climáticas do local;

2. **Substrato:** É a camada de solo e de suporte para a vegetação, fornecendo água e nutrientes. Camada importante para o armazenamento temporário de água;
3. **Geotêxtil:** É uma camada filtrante que separa a camada de substrato com a camada drenante. Impede a passagens de partículas do substrato para as camadas seguintes, o que poderia reduzir a funcionalidade do telhado verde;
4. **Camada de drenagem:** Geralmente os telhados verdes são horizontais. Dessa forma, a camada drenante é responsável por evitar alagamento indesejáveis. Além disso, retém parte da chuva, necessária para a vegetação em períodos de estiagem;
5. **Camada protetora:** Retém umidade e nutrientes acima da estrutura do telhado, o que fornece proteção física para a membrana de impermeabilização contra o crescimento das raízes da vegetação;
6. **Impermeabilização:** Evita que a água entre em contato com a estrutura do telhado;
7. **Estrutura do telhado:** Responsável por suportar a carga do telhado verde, que varia em função da espessura do extrato.



Figura 24 – Esquema das camadas componentes do telhado verde (Disponível em < <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>> Acesso em set. 2019)

## CAPTAÇÃO DE ÁGUA

O aproveitamento das águas pluviais não é novidade. Segundo Tibaijuka (2008), em 2000 a.C., já construíam tanques de captação dessas águas para uso agrícola e doméstico. De certa forma, o telhado verde é uma ferramenta de captação e gestão de águas pluviais. No entanto, é possível conjugar, ao telhado, outros sistemas de captação para fins não potáveis. A utilização da água da chuva é simples e eficaz, além de ser positiva em questões econômicas e ambientais (ANNECCHINI, 2005).

Em áreas urbanas, o aproveitamento da água da chuva envolve aspectos sociais e ambientais. A captação da água reduz o consumo de água das

concessionárias, gerando economia de recursos. Estima-se que essa economia é de 30% (TOMAZ, 2005). Além disso, promove uso mais racionais da água potável e valoriza o recurso, diminuindo a perda de água ao longo dos extensos sistemas de distribuição (TORDO, 2004). E mais, reduz exploração de recursos hídricos passíveis de escassez, como lagos, represas e rios.

O sistema de aproveitamento de água pluvial é simples e compreende a coleta da água, através de uma área de captação (telhado e piso, por exemplo), o direcionamento, realizado por condutores, e o armazenamento, em um reservatório. Pode existir também instalações hidráulicas para conduzir a água até o local de uso (ANA, 2005). O esquema do sistema de captação de águas pluviais está representado na Figura 25 a seguir.

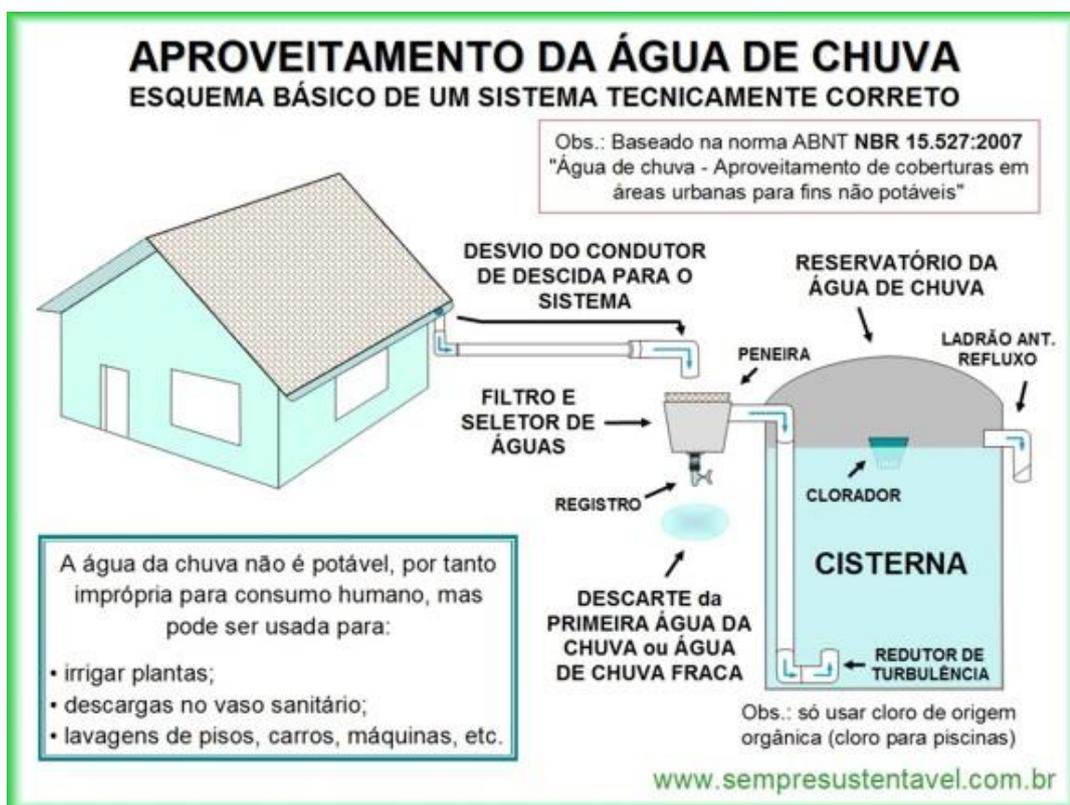


Figura 25 – Esquema de aproveitamento de águas pluviais. A água coletada pela superfície (telhado) é direcionada, por condutores, até o local de armazenamento (cisterna). Na Figura, estão indicados alguns usos possíveis dessas águas (fins não potáveis) (Disponível em <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/aguadechuva/agua-de-chuva.htm>> Acesso em set. 2019)

### 2.7.3 Biodigestor

Trata-se de saneamento básico quando se fala em biodigestores. Recentemente a Organização das Nações Unidas, reconheceu o saneamento básico como um direito humano, separado do direito à água potável, uma vez que mais de 2,5 bilhões pessoas não possuem acesso à banheiro e sistemas de esgoto adequados no mundo. Segundo Leo Eller, Relator Especial do Direito Humano à Água e ao Esgotamento Sanitário da Nações Unidas, a ausência desse direito atrapalha o alcance de outros direitos, como à saúde, à vida e à educação.

A falta de saneamento favorece a transmissão de doenças infecciosas, como cólera, hepatite e febre tifoide, sendo os mais vulneráveis, as crianças e mulheres. De acordo com Marcelo Neri, ex-presidente do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, “os índices de mortalidade infantil caem quando elas têm acesso a esgoto tratado. Da mesma forma, o índice de mulheres que dão à luz bebês já mortos cai, quando vivem em ambiente com rede de esgoto”.

A questão do saneamento por si só já é falha, mesmo em regiões urbanas condensadas, onde o serviço existe, porém inadequado à saúde e meio ambiente. A realidade é a maioria dos sistemas não são cíclicos, ou seja, não favorecem a reutilização dos recursos, além de contaminar águas superficiais e subterrâneas. No entanto, a temática se complica em regiões rurais, onde muitas vezes não há nenhum tipo de ferramenta sanitária e de tratamento do esgoto. Uma vez que o fator financeiro é influenciador, pois os custos são elevados para as obras de coleta de esgoto, as regiões rurais, comunidades desfavorecidas e isoladas não se difundirão dos sistemas coletivos.

Diante do cenário, sistemas descentralizados de tratamento de resíduos são alternativas para atendimentos unifamiliar e pequenos grupos residências. Esses sistemas buscam aumentar as chances de sucesso dos modelos propostos por meio da simplificação, redução de custos e maior autonomia da região.

Diante das unidades de tratamento desenvolvidas, a fossa séptica biodigestora é uma solução simples, barata e eficiente para livrar a população de doenças. Esse dispositivo, além evitar contaminação do lençol freático, produz adubo orgânico líquido, que pode ser utilizado em hortas e pomares. De forma geral, são reatores

capazes de tratar o esgoto através de processos de digestão, sedimentação e flotação. No entanto, a bioenergia que pode ser gerada através da digestão anaeróbica da matéria orgânica (biomassa) não é captada por essa ferramenta isolada, além de demandar limpeza mecânica, com frequência planejada.

O biodigestor é responsável pela produção de biogás e biofertilizante a partir da digestão de matéria orgânica realizada por bactérias (fermentação), em um ambiente anaeróbico (ALVES, PAGANINI e RIBEIRO, 2013). Os produtos deste processo são renováveis e autossustentáveis e podem ser gerados a partir de esterco de gado, porcos, cavalos, galinhas e ovelhas, excremento humano e resto de vegetais de culturas (SEIXAS, FOLLE e MARCHETTI, 1981).

A digestão anaeróbica (ausência de oxigênio), além de ser um processo de tratamento de materiais orgânicos é também uma opção energética por se tratar de conversão da maior parte da carga poluente do efluente em fonte de energia (ALVES, PAGANINI e RIBEIRO, 2013). O biogás é composto por metano, dióxido de carbono, hidrogênio e dióxido de enxofre, e é produzido pelo processo de digestão caso as condições sejam favoráveis. São elas:

- Ausência de compostos químicos tóxicos;
- Temperatura entre 30°C e 45°C. Caso esteja fora desse limite a produção de biogás será afetada e abaixo de 15°C ela cessa. Dessa forma, deve-se garantir que o biodigestor esteja isolado termicamente;
- Matéria-prima: todos os materiais de origem orgânica podem ser utilizados no biodigestor, exceto a madeira.
- Ausência de ar.

Segundo Seixas, Folle, & Marchetti (1981), o local de implantação do biodigestor deve ser pensado previamente. O equipamento deve permanecer exposto ao sol e abrigado do vento dominante e distanciamento máximo de 30m em relação a casa a fim de economizar com as tubulações e possibilitar instalações sanitárias dentro da residência.

Sobre as vantagens do uso do biodigestor, têm-se a baixa produção de sólidos, redução do consumo energético, produção de gás metano (gás combustível de elevado teor calórico), tolerância a elevadas cargas orgânicas, aplicabilidade em

pequena e grande escala, baixo consumo de nutrientes, possibilidade de preservação da biomassa etc.

De modo geral, os biodigestores são compostos por dois dispositivos. São eles o tanque para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro, destinado ao armazenamento do biogás. Existem particularidades entre biodigestores em relação ao abastecimento de biomassa, podendo ser contínuo ou intermitente. Neste recebe-se a carga total para ocorrer o processo de biodigestão, em seguida, esvaziado e recarregado novamente. Enquanto naquele sucedem-se cargas diárias de matéria orgânica que se movimenta por meio de carga hidráulica.

Os biodigestores são encontrados em diversos modelos, tais como: Indiano, Chinês, Paquistânês, Tailandês, Filipino, Canadense e etc. Os mais difundidos são os modelos Indiano, Chinês e Canadense, sendo último, o mais utilizado atualmente, principalmente pelo desenvolvimento de geomembranas que facilitam a instalação dos biodigestores.

### **2.7.3.1 Modelo Indiano**

É um biodigestor de abastecimento contínuo de matéria orgânica. Caracteriza-se por possuir uma campânula móvel (uma tampa) como gasômetro, a qual pode ou não estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação. Além disso, compõe-se à estrutura, uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação (DEGANUTTI, PALHACI, *et al.*, 2002).

O modelo Indiano (Figura 26) possui pressão de operação interna constante. Para isso, quando o biogás é produzido e não consumido de imediato, a campânula (gasômetro) expande-se, aumentando o volume destinado para o armazenamento do biogás, garantindo que a pressão permaneça constante. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano deverá apresentar uma concentração de sólidos totais não superior a 8% para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material.

Do ponto de vista construtivo, é de fácil construção, contudo o gasômetro de metal (campânula móvel) pode encarecer o custo final. E mais, a distância da

propriedade pode dificultar e encarecer o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor (DEGANUTTI, PALHACI, *et al.*, 2002).

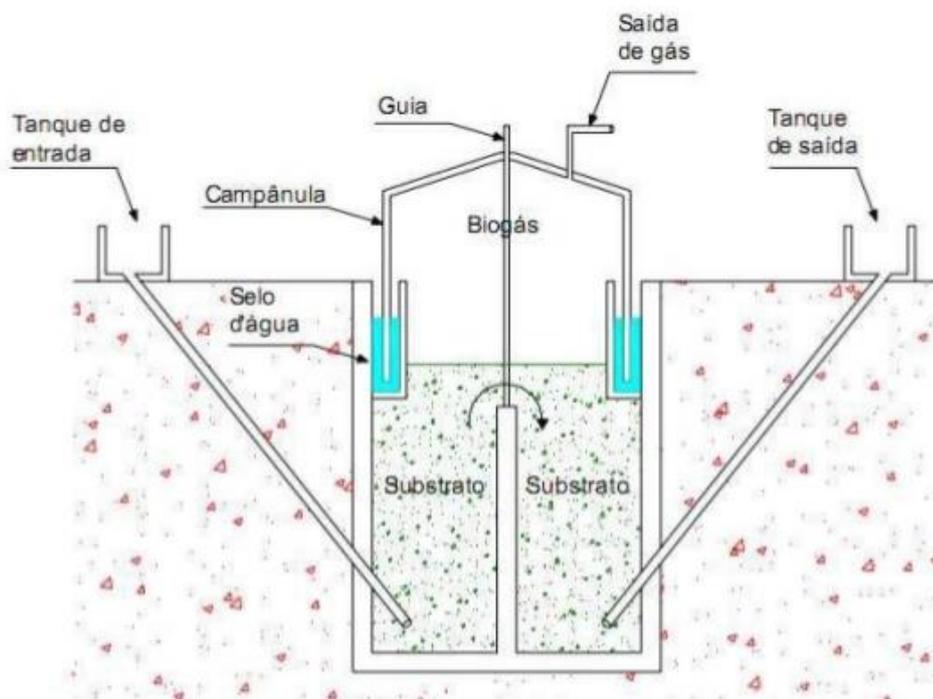


Figura 26 – Esquema de biodigestor do tipo Indiano (Fonte:)

### 2.7.3.2 Modelo Chinês

O modelo Chinês (Figura 27) foi inspirado no modelo anterior, mas com adaptações para as condições locais da China. Também de abastecimento contínuo, funciona com base no princípio da prensa hidráulica, pois o acúmulo de biogás que gera aumento de pressão em seu interior, resultará em deslocamentos do efluentes da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão.

É construído quase que totalmente em alvenaria, tornando o modelo mais barato, pois dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço. No entanto, caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada, pode ocorrer problemas de vazamento do biogás. Neste modelo, uma parcela do gás produzido é liberada para a atmosfera. Dessa forma, a pressão interna do gás é reduzida parcialmente e, por isso, o biodigestor modelo chinês não são utilizados para edificações de grande porte.

Assim como o modelo indiano, substrato fornecido continuamente com a concentração de sólidos totais em torno de 8% para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

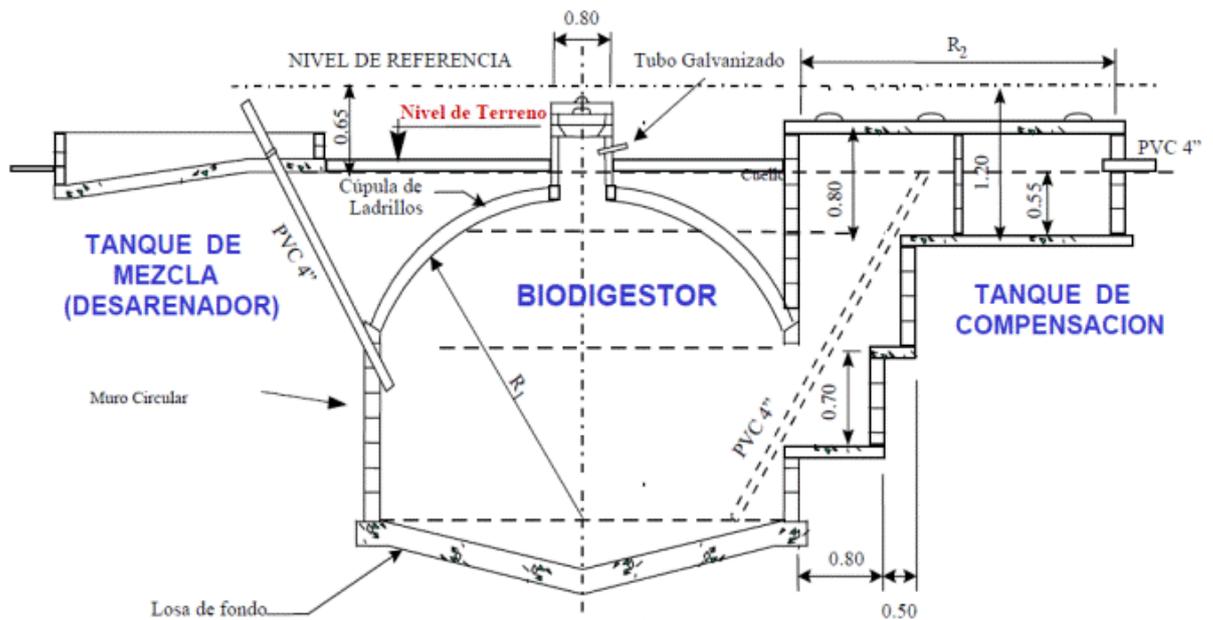


Figura 27 – Esquema de biodigestor do tipo Chinês (Fonte:)

### 2.7.3.3 Biossistema

É um sistema biológico multifuncional que realiza o tratamento dos dejetos de forma simples, ecológico, com baixo custo e consumo de energia e ainda possibilita uma série de benefícios sociais, ambientais e econômicos. Além de permitir que os dejetos humanos, ao longo das diferentes etapas de tratamento, percam o potencial poluidor, um biossistema pode produzir energia com a biomassa disponível e reciclar nutrientes que podem ser reaproveitados na produção de vegetais e na recuperação de áreas (Pereira, 2015).

O tratamento de resíduos por biodigestão e filtragem pode ser realizado por diversas tecnologias. Esses equipamentos associados formam uma biossistema. De forma simples, um biossistema pode ser composto pela câmara biodigestora associada a filtros de tratamento, que podem ser diversificados. Se no biodigestor

ocorre a biodigestão e a produção do gás, nas câmaras ocorre a continuação dos processos, com a produção de biofertilizante e, ao final, de água residual.

Os biossistemas são adaptáveis a localidade de instalação. Os componentes principais são: o biodigestor, com filtro para a degradação da matéria orgânica e produção de biogás; a zona de raízes, os tanques de algas, de peixes, de macrófitas, e as composteiras para o reuso do efluente tratado nos biodigestores, que são ricos em nutrientes. O esquema de funcionamento dos componentes de um biossistemas (Figura 28) estão descritos e representados a seguir.

## **1. BIOGIGESTOR**

Na parte superior do biodigestor (conhecido como cúpula de gás ou gasômetro), o gás metano é armazenado e, posteriormente, aproveitado para a geração de energia elétrica. O resíduo sólido e líquido restante é transformado em fertilizante. Assim, faz-se o devido tratamento dos efluentes e ainda se obtém subprodutos com valor agregado. A água do esgoto desse processo de biodigestão, pode ser processada e filtrada no filtro anaeróbio.

## **2. FILTRO ANAERÓBIO**

Inicialmente, o filtro anaeróbio consiste de um tanque contendo material de enchimento\*, que forma um leito fixo, alimentado com esgoto ou efluente de outra unidade de tratamento. Na superfície do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos (agrupam-se em flocos). O fluxo através do meio filtrante, e do lodo ativo, é que confere alta eficiência aos filtros anaeróbios.

### 3. ZONA DE RAÍZES

Baseia-se em princípios físicos (filtração) e biológicos, que parte do filtro, constituído por plantas à jusante do tratamento. Essas plantas devem ter raízes com aerênquimas bem desenvolvidos, também conhecidas como macrófitas (aconselha-se plantar espécies de folhas como mamoeiro, bananeiras, taiobas, caetés etc.). Ao passar do tempo, se aparecem minhocas e outros organismos do solo, como cascudos e insetos. Isso é sinal de que o sistema de tratamento está funcionando muito bem e o solo está ficando mais fértil. Estes organismos auxiliam na digestão do esgoto.

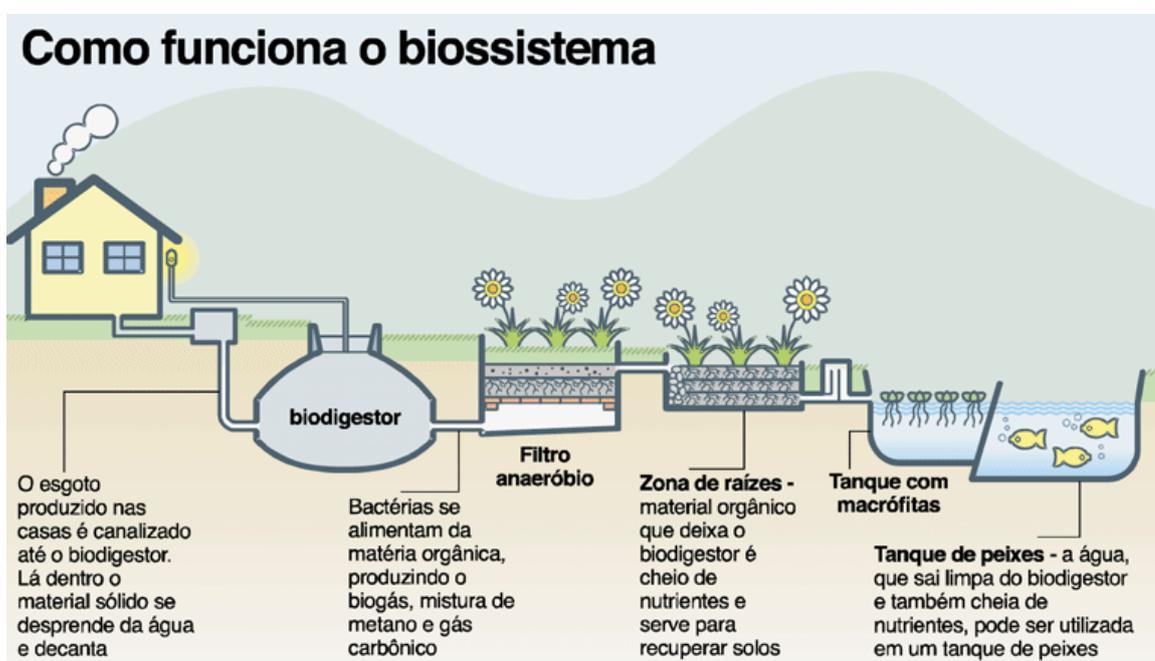


Figura 28 – Esquema do biossistema. Indicação das etapas e resumo dos processos (Fonte: Pereira, 2015)

#### 2.7.4 Energia Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico está relacionado à conversão direta da potência da radiação solar em potência elétrica. A conversão é possível devido às células fotovoltaicas, compostas por material condutor e substâncias que criam o meio adequado para a ocorrência do efeito e produção de corrente elétrica contínua. Para a obtenção de potências elevadas, as células fotovoltaicas são ligadas em série ou em paralelo, formando os módulos fotovoltaicos. (CASTRO, 2002).

Dependendo do uso da tecnologia, é necessário antever as formas de armazenamento e/ou de geração auxiliar de eletricidade. A produção de energia por sistemas fotovoltaicos depende da intensidade do Sol e temperatura local. Nos períodos noturnos, a produção é nula, e portanto, não atende à demanda em tempo real. É possível que haja, localmente, uma ligação à rede de distribuição de eletricidade, que permita receber a energia produzida excedente pelo sistema fotovoltaico, e também utilizar a eletricidade fornecida pela rede de distribuição, nos períodos sem Sol e/ou de pouca produção fotovoltaica (BRITO e SILVA, 2006).

Para o uso de corrente elétrica alternada, é necessário que o sistema possua um inversor, responsável pela conversão de corrente contínua em corrente alternada. Além disso, os inversores são dispositivos que ajustam a tensão de saída conforme a mais indicada para a aplicação. (BRITO e SILVA, 2006).

O esquema de um sistema fotovoltaico está na Figura 29. A produção de energia acontece nos módulos fotovoltaicos. O controlador, além de interface entre os componentes, regula a tensão, a fim de proteger as baterias, controla a operação do sistema gerador auxiliar (backup) e converte a tensão para a mais adequada à carga (inversor).

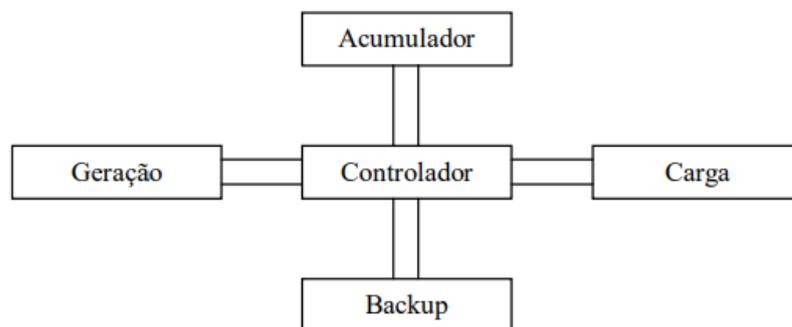


Figura 29 – Esquema sistema fotovoltaico (Fonte: Brito & Silva, 2006)

A eficiência da produção energética de uma célula fotovoltaica é definida como o quociente entre a potência da luz que incide na superfície da célula e a potência elétrica disponível aos seus terminais. Os fenômenos termodinâmicos do efeito limitam a taxa da eficiência da conversão fotovoltaica, e a própria arquitetura das células reduz a eficiência máxima.

A relativamente baixa eficiência de conversão pode ser vista como razão para a baixa implementação do sistema. No entanto, encará-la como justificativa pode ser precoce, uma vez que outros processos de conversão possuem eficiências comparáveis. Além disso, a fonte do sistema fotovoltaico é a radiação solar, abundante e gratuita. Em contrapartida, para atingir maior potência elétrica exige-se mais módulos, e, portanto, mais área para a implementação do sistema.

## 2.8 Organicidade

A palavra “orgânico” tem como significado o desenvolvimento natural, algo que possui estrutura análoga à da natureza. Na arquitetura, o termo também é utilizado para caracterizar um edifício. Na arquitetura orgânica, uma casa não pode ser vista isoladamente, mas sim como algo que irá harmonizar com o ambiente estabelecido. (FOREST, 2008).

Um dos principais arquitetos atrelado ao organicismo é o norte-americano Frank Lloyd Wright e até mesmo para ele era difícil definir o conceito. Na obra

orgânica, deve haver unidade, edifícios integrais, onde a arte, ciência e religião estão unidos. E mais, a unidade numa relação de troca entre a parte e o todo. Dessa forma, a natureza entra como fundamental no organicismo (ZIVI, 1949). A Figura 30 a seguir indica uma das arquiteturas realizadas por Frank, denominada Casa da Cascata, desenhada pelo arquiteto em 1934.



Figura 30 – Casa da Cascata: projeto do arquiteto Frank Lloyd Wright, desenhado em 1934 e construído em 1936. Projeto dentro dos princípios da organicidade, uma vez que a estética coexiste com a natureza (Disponível em: <<https://thonilitsz.arq.br/casa-da-cascata-projeto-do-arquiteto-frank-lloyd-wright/>> Acesso em set. 2019)

Unidade e natureza se tornam um só conceito, uma base perfeita para as relações sociais (TWOMBLY, 1979). Para Wright, além da preservação ambiental, a natureza possui um viés filosófico, ou seja, a percepção após a essência. A natureza de uma casa vai além da aparência, sua representatividade aos moradores é fundamental (FOREST, 2008).

No organicismo de Wright, aspectos fundamentais desse tipo de obra e que ajuda a compreender o conceito são: simplicidade, continuidade, plasticidade, integridade, natureza dos materiais e gramática. A simplicidade almeja à objetividade da qualidade e do que é essencial. A continuidade diz que nada na obra é isolado e sim conjunto. A plasticidade explica que a forma e a função são um só. Na integridade, entra a questão da unidade defendida por Wright, ou seja, os elementos idealizados na obra devem ser integrados e atuarem conjuntamente no todo. Os materiais irão predeterminar a volumetria, as proporções e a relação com o entorno. Dessa forma, devem ser estudados e compreendidos para que suas propriedades e qualidades naturais sejam ressaltadas. Por fim, a gramática como a articulação e organização entre os elementos da construção (WRIGHT, 1954).

### **2.8.1 Friedensreich Hundertwasser**

Friedensreich Hundertwasser (1928-2000) foi um artista e arquiteto austríaco que buscou fazer o elo entre a arquitetura e a natureza. Elaborou ensaios contra qualquer tipo de arquitetura que afasta o ser humano da sua condição e meio ambiente natural. Além disso, Hundertwasser foi contra qualquer tipo de padrão relacionados à arte. Na arquitetura, tanto as formas como as cores, por exemplo, não deviam seguir um modelo único. A Figura 31, a seguir, indica uma das obras de Hundertwasser (a Hundertwasser House, na Áustria) e valida a inexistência de padrões. A habitação deve fazer parte do morador e ser individual, algo impossível de atingir com uma arquitetura monótona e repetitiva. E mais, tinha total harmonia com a natureza, ou seja, o organicismo forte em suas obras.

Além disso, conceitos da bioconstrução estavam presentes nas ideias defendidas por Hundertwasser. Além das questões ecológicas desde a concepção do

projeto, sustentou a ideia da participação do morador na construção de sua própria habitação (FRANCO, 2013).



Figura 31 – Hundertwasser House, em Viena, na Áustria. Projeto do artista e arquiteto, Friedensreich Hundertwasser. (Fonte: Carmen Neumeier, 2016)

### 2.8.1.1 “Teoria das 5 peles”

Um dos manifestos de Hundertwasser é a “Teoria das 5 peles”. Para o arquiteto, a primeira pele do ser humano é a epiderme, a segunda a roupa e como terceira pele, tem-se a casa. Como quarta a identidade social e a quinta o meio global, ecologia e humanidade (FRANCO, 2013). As 5 peles de Hundertwasser se comunicam entre si e atuam na percepção da relação homem-natureza. E mais, é um modo de viver em equilíbrio na Terra (VASCONCELOS e SIQUEIRA, 2015).

Atentando-se à terceira pele, a casa, Hundertwasser acredita na individualidade. No ensaio, diz que os prédios modernos são anônimos, sem emoção, agressivos, portanto, sem identidade. Para alcançar a individualidade, as formas orgânicas e diferentes entre si fazem com que o residente se identifique com a casa por fora (HUNDERTWASSER, 1985).

### **2.8.1.2 “Manifesto do mofo contra o racionalismo”**

Outro manifesto de Hundertwasser é o do mofo contra o racionalismo na arquitetura, em 1958. Nele, estão presentes ideias do artista relacionadas tanto à bioconstrução quanto à organicidade. Hundertwasser afirma que todos os indivíduos “devem poder e ter que construir e assim, ser verdadeiramente responsáveis pelas quatro paredes” de suas casas (HUNDERTWSSER, 1958). Análogo a uma das bases da bioconstrução, em que é importante o envolvimento do morador em todo o processo construtivo (CANTARINO, 2006).

Em diálogo com a teoria das 5 peles, Hundertwasser já dizia no manifesto sobre individualidade das habitações. “O arquiteto não tem relação com o prédio. Mesmo o maior gênio arquitetônico não pode prever que tipo de ser habitará na casa”. Deve haver unidade entre arquiteto, pedreiro e locatário. “Se essa unidade for perdida, não pode haver arquitetura, assim como as construções fabricadas atualmente não devem ser consideradas arquitetura. O homem tem que recuperar a função crítica e criativa que perdeu e sem a qual ele deixa de existir como ser humano” (HUNDERTWSSER, 1958).

Quanto à organicidade, Hundertwasser ao longo do manifesto repudia as linhas retas enraizadas na arquitetura moderna. “Essa selva de linhas retas, que está nos enredando cada vez mais como prisioneiros em uma prisão, deve ser eliminada. Até agora, o homem sempre limpou as selvas em que estava e se libertou. Mas, para limpar uma selva, você deve primeiro se conscientizar de que está em uma, pois essa selva tomou forma furtiva, despercebida pela humanidade. E desta vez é uma selva de linhas retas.” (HUNDERTWSSER, 1958).

## 2.9 Planejamento de espaços culturais e educacionais

A concepção do espaço físico de um ambiente cultural e de ensino possui importante influência em como o aprendizado acontecerá nesse espaço. O ambiente deve estimular e facilitar o ensino. Para Doris Kowaltowski, professora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, o espaço educacional é como um “terceiro professor” (KOWALTOWSKI, 2018).

O estímulo pode se dar tanto por fatores físicos como psicológicos. Em um ambiente arquitetonicamente bem planejado, a iluminação, ventilação e temperatura, por exemplo, são aspectos que podem auxiliar no bem-estar e concentração do aluno naquele espaço. E mais, o ambiente deve transmitir segurança. Em um prédio confuso, malcuidado e com muitas grades, o aluno não se sentirá seguro (KOWALTOWSKI, 2018).

Os principais aspectos que devem ser levados em conta na construção de um espaço educacional são primeiramente, segurança e saúde dos alunos. Em seguida, pensa-se em conforto. Além disso, a arquitetura da escola deve dialogar com a pedagogia que será utilizada. Outro ponto importante da educação e que deve ser transmitido pelo espaço físico é a socialização. O ambiente deve proporcionar boa convivência (KOWALTOWSKI, 2018).

Antes do projeto arquitetônico, deve-se dialogar com a comunidade em que se instalará o novo espaço educacional. Só assim, o ambiente e a pedagogia utilizados serão apropriados e responderão à realidade daquele público e região (KOWALTOWSKI, 2018).

A faixa etária atendida também é fundamental para a concepção do espaço. Para um bom desenvolvimento do jovem é preciso momentos para dedicar-se ao que está apto. De acordo com metodologia utilizada atualmente, existem três momentos do aprendizado e o prédio deve proporcionar essas variedades. Primeiro um espaço em que será oferecido novas informações, onde o aluno possa enxergar e ouvir com clareza o que está sendo passado pelo professor. O segundo momento do aprendizado refere-se à absorção da informação e desenvolvimento de conhecimento. Esse espaço deve proporcionar trabalho em grupo e a realização de exercícios. Por fim, o terceiro momento refere-se à uma absorção de informação individual, oferecido

por um ambiente em que o aluno possa estudar sozinho, com calma e conforto (KOWALTOWSKI, 2018)

O ambiente educacional é definido, na legislação, como um equipamento urbano, e de acordo com a NBR 9284 (1986), tais equipamentos são “todos os bens públicos ou privados, de utilidade pública, destinados à prestação de serviços necessários ao funcionamento da cidade, implantados mediante autorização do poder público em espaços públicos ou privados.”.

De acordo com a Lei n. 9785 (1999), os equipamentos urbanos devem ocupar áreas proporcionais à densidade da ocupação prevista em plano diretor. Contudo, muitos desses documentos municipais ou não existem, uma vez que são obrigatórios para municípios com população maior que 20000 habitantes, ou não apresentam instruções aprofundadas sobre o planejamento desses equipamentos (DREUX, 2004).

Algumas considerações devem ser feitas para a implantação de equipamentos urbanos de educação as quais são: dimensionamento da área do terreno, do porte da edificação e dos raios de abrangência; potencial de criação de espaços urbanos mais sustentáveis; necessidade de articular-se com entorno; necessidade de planejamento da circulação (NEVES, 2015).

Para o dimensionamento dos serviços, existem metodologias elaboradas por diversos autores as quais envolvem cálculos em função do índice de metro quadrado (m<sup>2</sup>) de construção, do número de usuário/habitante do entorno, da distância a ser percorrida a pé e facilidade de deslocamento por transporte coletivo (BATISTA, ORTH e BORTOLUZZI, 2011).

Neves (2015), em seu artigo, reúne critérios de diferentes autores para o dimensionamento dos equipamentos, de acordo com o nível de educação oferecida pelo espaço (infantil, ensino fundamental e médio). O comparativo está indicado na Tabela 8 a seguir. E mais, para Neves (2015), mesmo com metodologias de dimensionamento, o Brasil carece de normas e instruções técnicas que regulamentam a criação desses equipamentos urbanos.

	Santos (1988)	Guimarães (2004)	Gouvêa (2008)
Educação Infantil	terreno com área de 6m <sup>2</sup> por criança e edifício com 4m <sup>2</sup> por criança; as turmas devem ser de no máximo 20 alunos		área mín.do terreno: 3.000,00 m <sup>2</sup> ; raio de abrangência: 300m; n° de alunos por sala de aula: 15 a 25; n° de salas por equipamento: 12; funcionamento em 1 turno
Escola de Ensino Fundamental	atender 20% da população servida; terreno com 6,4m <sup>2</sup> por aluno (nunca inferior a 1.000m <sup>2</sup> ); edificação área de aprox. 3,2m <sup>2</sup> por aluno; as turmas com capacidade de 40 alunos; apresentar áreas livres para esportes; apresentar áreas para expansão	0,507m <sup>2</sup> de área construída por pop; raio de abrangência: 800 metros	área mín. do terreno: 8.000,00m <sup>2</sup> ; raio de abrangência máx.: 1.500 metros; n° de alunos por equipamento: 1.050; n° de salas por equipamento: 15; funcionamento em 2 turnos
Escola de Ensino Médio	devem atender ao bairro ou quando especializados a toda a cidade; apresentar índices de terreno e construção similar às escolas de 1° grau; salas de aula dimensionadas para no máximo 40 alunos	0,182m <sup>2</sup> de área construída por pop; raio de abrangência: 1.600metros	área mín. do terreno: 11.000,00m <sup>2</sup> ; raio de abrangência máximo: 3.000m; n° de alunos por equipamento: 1.440; n° de alunos por sala de aula: 40 a 45; n° de salas por equipamento: 18; funcionamento em 2 turnos

Tabela 8 – Comparativo das dimensões necessárias para os espaços educativos por nível de ensino, definido por Santos (1988), Guimarães (2004) e Gouvêa (2008) (Fonte: Neves, 2015)

A sustentabilidade é outro ponto importante que deve estar atrelado no planejamento de equipamentos urbanos. Desde a década de 1980, metodologias e leis foram criadas a fim de protegerem o meio ambiente. Assim, conceitos como biocidades, construções sustentáveis, projetos ecológicos etc. também entraram em discussão (NEVES, 2015). Para Lima (2004), a sustentabilidade está fundamentada na relação homem-natureza, e suas causas nas questões sociais, econômicas e políticas. Dessa forma, o planejamento dos equipamentos potencializa o pensamento sustentável no meio urbano. A sustentabilidade é alcançada quando tais planejamentos fornecem ao meio certa autonomia, ou seja, minimizam os deslocamentos e incentivam interações socioespaciais.

Além disso, o entorno aos equipamentos urbanos são fundamentais no planejamento a fim de avaliar a viabilidade da construção em determinado local. Os equipamentos de educação devem estar próximos à elementos que complementam o ambiente escolar, por exemplo, espaços verdes, habitações (usuários), escolas de

diferentes níveis de ensino etc. Instalações que geram poluição sonora, olfativa e tráfegos excessivos não são desejáveis no entorno (NEVES, 2015).

### **2.10 Projeto Referência: Escola Sustentável em Jaureguiberry, no Uruguai**

A escola sustentável em Jaureguiberry, no Uruguai (Figura 32) é um grande exemplo de bioconstrução, planejamento sustentável e organicidade aplicados em um espaço educacional. Foi desenvolvida pelo arquiteto norte americano Michael Reynolds junto com sua empresa Earthship Biotecture. O objetivo do projeto foi unir a educação tradicional com o respeito ao meio ambiente, uso responsável dos recursos e o desenvolvimento das relações humanas sustentáveis.

O prédio foi construído em apenas sete semanas por meio de uma estratégia construtiva que envolve a participação social. Contou com a participação de 150 pessoas, sendo elas voluntários, estudantes do Uruguai e de outros trinta países, a fim de transferir o conhecimento dos métodos utilizados na construção e envolver a comunidade local antes, durante e depois do término da obra.

Com 270 m<sup>2</sup>, a escola é composta por 60% de materiais reciclados e 40% de materiais tradicionais. O planejamento foi feito de forma sustentável com o objetivo de aproveitar ao máximo a luz natural. Além disso, há a produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. A coleta de água da chuva também é característica da escola. A água pluvial é utilizada no consumo humano nas pias, na irrigação das hortas e cisternas, onde ocorre tratamento das águas negras (SBEGHEN, 2016). As Figuras 32 e 33 indicam algumas pranchas do projeto arquitetônico (cortes e planta baixa).



Figura 32 – Escola Jaureguiberry, no Uruguai, desenvolvida pelo arquiteto Michael Reynolds (Disponível em <<https://casacor.abril.com.br/sustentabilidade/uruguai-inaugura-a-primeira-escola-publica-completamente-sustentavel/>> Acesso em set. 2019)

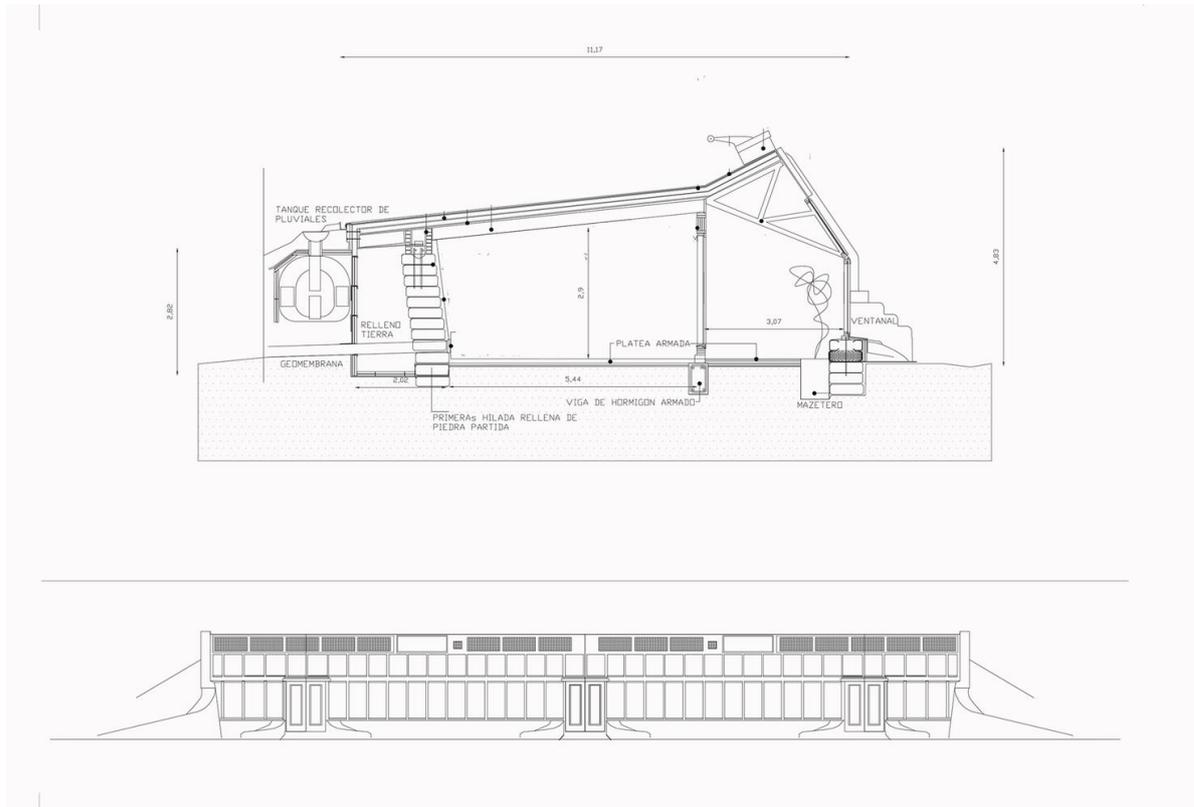


Figura 33 – Na parte superior tem-se o corte transversal da estrutura. Nota-se a representação de alguns materiais recicláveis (pneus) compondo a estrutura, além do sistema de captação de águas pluviais. Abaixo, a vista longitudinal. É possível notar a representação dos painéis fotovoltaicos. (Disponível em <[https://www.archdaily.com.br/br/791524/conheca-a-escola-sustentavel-de-michael-reynolds-em-jaureguiberry-uruguai/57645eeae58ecef4160000e?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/791524/conheca-a-escola-sustentavel-de-michael-reynolds-em-jaureguiberry-uruguai/57645eeae58ecef4160000e?next_project=no)> Acesso em nov.

2019

### **3 METODOLOGIA**

Como metodologia do planejamento sustentável em bioconstrução do projeto de um espaço educacional-cultural na região atingida de Barra Longa, em Minas Gerais, tem-se as seguintes etapas: a fundamentação teórica, o estudo do local, e, por fim, a definição dos materiais, métodos construtivos e concepção arquitetônica, além do dimensionamento estrutural e das tecnologias e ecotécnicas escolhidas para o projeto.

#### **3.1 Definição e estudo do local**

O estudo do local é determinante para definir as necessidades, problemas da região e expectativas da comunidade, a partir de escuta. Para isso, fez-se visitas ao município de Barra Longa e ao distrito Gesteira, além da participação em reuniões realizadas pelas Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social (AEDAS) no município, com participação do Laboratório de Educação Ambiental (LEA/AUEPAS/UFOP). Nessa etapa foi definido qual o público alvo, como faixa etária, escolaridade, maiores dificuldades e desejos no aprendizado. Todas as premissas da sustentabilidade devem ser consideradas, como: as variáveis ambientais, econômicas, gênero, etnia, espiritualidade, cultura e ética ambiental. Através de entrevistas com moradores, foi possível definir quais as atividades serão oferecidas no espaço, além da manutenção das atividades da antiga escola destruída. Também expor ao público o viés socioambiental do projeto e a possibilidade do uso do espaço para atividades da comunidade.

Ainda no estudo do local, as visitas auxiliaram na última etapa da metodologia: a escolha dos materiais e concepção arquitetônica. Foram analisados quais os materiais estão próximos na região e que podem ser utilizados em um projeto de bioconstrução, tanto materiais recicláveis como o tipo de solo do local. Além disso, se a comunidade possui alguns conhecimentos dos métodos construtivos de bioconstrução, já que participarão na construção do espaço.

O local de estudo é Gesteira, distrito do município de Barra Longa, em Minas Gerais. Em primeiro momento, serão definidas as justificativas da escolha do local. Além disso, características da região que devem ser consideradas no planejamento do equipamento urbano de educação, ou seja, tipo de solo, clima, chuvas, serviços

básicos, arquitetura predominante etc. Por fim, levantamento de informações sobre a escola municipal que foi destruída pela lama da Samarco, após o rompimento da barragem, local exato do projeto deste trabalho de conclusão de curso. A descrição do distrito de Gesteira e o levantamento das informações da antiga escola da comunidade foram por meio da revisão bibliográfica sobre o distrito e através de entrevistas com moradores da região.

### **3.1.1 Justificativa**

Gesteira foi o local escolhido devido às consequências das atividades mineradoras na região. O distrito foi atingido drasticamente pela lama e desde então consequências, em diversas esferas, assombraram e assombram a região. A comunidade encontra-se em ruínas e devido os interesses das grandes mineradoras pela região e o rompimento de Fundão, sofreram processo de deslocamento compulsório, ou seja, o processo de deslocamento territorial no qual o elemento central e dominante é o exercício do poder. As pessoas são obrigadas a deixar seus espaços de viver (PEREIRA, 2019).

Diante das injustiças e descasos em relação às premissas da sustentabilidade em função da mineração irresponsável, proposto por Milanez (2016), o planejamento de um espaço educacional-cultural sustentável, valorizando os saberes dos povos nessa região tem caráter de luta e resistência, uma vez que os atingidos pela Barragem de Fundão estão há 5 anos na luta por seus direitos. Além disso, o local exato de aplicação do projeto era um espaço educacional frequentado pela comunidade de Gesteira, que hoje, encontra-se em ruínas e sob rejeito.

### 3.1.2 Local: Escola municipal da comunidade em ruínas

Uma vez que o projeto é o planejamento de um espaço educacional-cultural sustentável, o local escolhido para o desenvolvimento do trabalho foi a escola municipal que funcionava na comunidade de Gesteira. A Figura 34, a seguir, evidencia que o espaço se encontra em ruínas e ainda sob o rejeito.



Figura 34 – Local exato de aplicação do projeto. Ao fundo, a Capela de Nossa Senhora da Conceição, construída em 1891. Ao lado da capela, a antiga escola comunitária em ruínas. Nota-se que o nível do solo se encontra acima do normal, uma vez que as aberturas (portas e janelas) estão impedidas (Disponível em <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-11/vilarejos-para-reassentar-vitimas-da-tragedia-de-mariana-nao-sairam-do-papel>> Acesso em set. 2019)

De acordo com o Google Maps, o georreferenciamento do local da escola é 20°15'41.6" (Hemisfério Oeste) e 43°07'36.8" (Hemisfério Sul). Através de visita ao local com auxílio de trena a laser e observação de imagens de satélite (Google Maps), foi possível estimar a área da escola e indicar a posição do Norte. Além disso, como é possível observar na Figura 34, há uma grande área a frente das ruínas, também considerada. As dimensões dessa área estão expressas na Figura 35 a seguir.

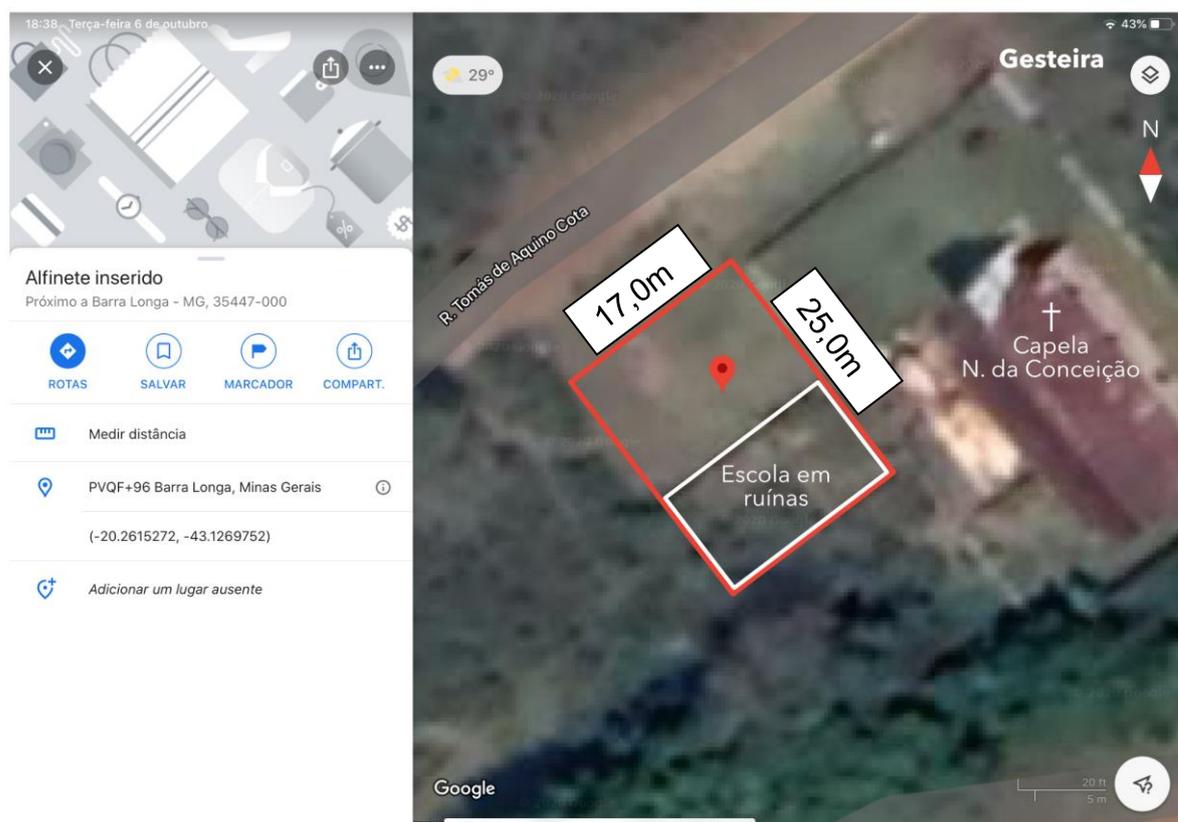


Figura 35 – Localização exata do projeto em Gesteira, na antiga escola da comunidade. Em vermelho está delimitada a área do terreno considerada para o novo espaço. Em branco, a delimitação da área construída da antiga escola. (Fonte: modificada do Google Maps pelo autor)

Por meio de conversas com moradores da comunidade de Gesteira, foi possível levantar características sobre o funcionamento da antiga escola, e como era sua estrutura e estética antes do rompimento, além da quantidade de alunos atendidos e faixa etária e quantidades de professores. Outro ponto foi tentar absorver o significado e importância da escola para a comunidade, e como a destruição do espaço afetou o território. Tal levantamento auxiliou na definição do novo layout proposto, a fim de resgatar os saberes dos territórios.

De acordo com uma das moradoras de Barra Longa, chamada Simone, a escola era composta por duas salas de aulas, 3 banheiros, uma dispensa, uma cozinha e uma outra sala utilizada para outros fins. Estruturalmente, a escola era feita de alvenaria com janelas de madeira. As paredes pintadas de branco e as aberturas de azul. Por fim, segundo a moradora, o telhado era de amianto.

### 3.1.3 Premissas ao projeto

Uma vez que a localidade de aplicação do projeto foi atingida pela lama de rejeitos, essas regiões estão contaminadas por metais pesados nocivos à saúde humana. Diante disso, uma das premissas para a realização e que também é uma das lutas dos atingidos, é a retirada da lama pelas empresas responsáveis. O estudo de outros desastres da mineração fora do Brasil indicou a possibilidade dessa retirada.

Na referência utilizada para o fundamento sobre as perdas ecossistêmicas (PEREIRA, 2019), reuniu-se alguns casos. Um deles foi em Aznalcóllar, na Espanha, onde uma barragem explodiu em 1998. Entre as ações realizadas após o rompimento da barragem, pode-se citar a purificação da água contaminada retida na área das Muralhas, remoção de lamas, monitorização da contaminação e limpeza e remediação da contaminação residual nas áreas afetadas.

A fim de proteger o Parque Nacional de Doñana, a Junta de Andaluzia construiu, com caráter de urgência e a pedido de Conselho Superior de Pesquisa Científica (CSIC), uma parede transversal de material solto para a contenção do derramamento no canal Entremuros, represando parte da água ácida.

Posteriormente, a Confederação Hidrográfica de Guadalquivir (CHG), como medida de segurança adicional, construiu, a jusante, uma nova parede paralela à executada anteriormente com todas as garantias do tratamento consolidado do aterro, uma vez que a execução da primeira parede a ser levantada não tinha garantia de estabilidade e havia risco de quebra.

A remoção emergencial dos rejeitos do Agrio Ríos e Guadiamar começaram em 3 de maio de 1998, continuando até dezembro de 1998. Foram removidos cerca de 4,7 milhões de m<sup>3</sup> de solo contaminado e vegetação, e foram levados para o poço aberto de Los Frailes.

Uma segunda fase de limpeza ocorreu durante o Verão de 1999, que retirou mais de 1 milhão de m<sup>3</sup> de material para o poço. Essas ações, e as paredes que eram construídas, reduziram consideravelmente os impactos a médio e longo prazo sobre a fauna na bacia hidrográfica (ARENAS e AL, 2001).

### 3.2 Viabilidade do solo para COB

Uma vez que o solo do local exato do projeto é passível à contaminantes, a terra coletada seria de uma região acima do nível em que a lama alcançou, como mostra a Figura 36. Ainda, a amostra retirada para os ensaios descritos na revisão bibliográfica seria coletada de vários pontos distintos (dentro da área azul) a fim de garantir uma maior representatividade do solo na amostra, assim como sugere o relatório da PROTERRA (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009)



Figura 36 - Área de coleta do solo (em azul), acima da região atingida diretamente pela lama de rejeitos (em vermelho) (Fonte: modificado do Google Maps pelo autor)

A análise tem como objetivo a caracterização do solo a fim de avaliar a viabilidade para as construções em COB. Uma vez que as características fundamentais para tais estruturas monolíticas, segundo Salazar (2011), são adesão, elasticidade, dureza, e proporções adequadas de argila e areia, somados aos ensaios realizados pela PROTERRA, optou-se pela execução dos seguintes testes: teste do vidro, teste da fita, teste de exsudação e teste de resistência seca.

Em função da pandemia do novo coronavírus e as indicações de isolamento social sugeridos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), a coleta de solo em Gesteira foi cancelada a fim de preservar a saúde dos envolvidos no presente trabalho e dos moradores da comunidade, que acompanhariam a coleta. Dessa forma a continuação deste trabalho em relação à viabilidade do solo de Gesteira para o método construtivo COB será realizada em formato de Artigo Científico após a pandemia.

### **3.3 Itens do planejamento**

Diante das etapas descritas, avança-se aos os tópicos finais da metodologia: o layout da planta baixa, cortes e fachadas, questões estruturais, e dimensionamento e caracterização das tecnologias e ecotécnicas revisados nos fundamentos teóricos (iluminação e ventilação natural, telhado verde associado ao sistema de captação de águas pluviais, o tratamento de esgoto por biossistema e a energia fotovoltaica).

Na metodologia, foi necessária a utilização de dois softwares, são ele: AutoCAD, para a elaboração dos layouts de planta e corte, e do software de análise estrutural MASTAN2. Além disso, para os dimensionamentos, utilizou-se as seguintes normas técnicas:

- ABNT NBR 15575 (2003) - DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- ABNT NBR/ISO 8995 - ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES DE TRABALHO;
- ABNT NBR 15527 (2007) - APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA DE COBERTURAS PARA FINS NÃO POTÁVEIS – REQUISITOS;
- ABNT NBR 10844 (1989) - INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS – PROCEDIMENTO;
- ABNT NBR 5626 (2020) - SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA E ÁGUA QUENTE — PROJETO, EXECUÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO;
- ABNT NBR 13714 (2000) - SISTEMAS DE HIDRANTES E DE MANGOTINHOS PARA COMBATE A INCÊNDIO;
- NORMA COLOMBIANA G-NSR-10 (2010) – TÍTULO G: ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA;

- ABNT NBR 6123 (1988) - FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES;
- NORMA COLOMBIANA NRS-98 (1998) – TÍTULO A: REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN;
- NORMA COLOMBIANA NRS-98 – TÍTULO B: CARGAS;

### **3.3.1 Arquitetônico**

O projeto básico de arquitetura foi realizado em função da revisão bibliográfica sobre bioconstrução (construção em COB), organicidade e planejamento de espaços educacionais. Além disso, as tecnologias e ecotécnicas definidas no projeto também auxiliaram nas questões de layout da estrutura.

As questões arquitetônicas definidas no projeto são: layout da planta baixa, indicando as mobílias, aberturas e distribuição das áreas, posicionamento do norte geográfico, geometria do telhado e indicações do posicionamento das tecnologias e ecotécnicas. O layout é composto pelas seguintes áreas: 2 salas de aula, banheiros, área de serviço, diretoria/escritório/almoxarifado, cozinha, refeitório, gibiteca e espaço para atividades multidisciplinares e debates da comunidade, além de áreas de vivência.

#### **3.3.1.1 Ventilação Natural (Conforto Térmico)**

A fim de aproveitar a ventilação natural como recurso para o conforto térmico e, conseqüentemente, para economia energética (prevenindo uso de sistemas artificiais de ventilação), foi necessário pesquisa sobre os dados climáticos da região.

Além disso, sabe-se que os dados do Mapa Eólico não representam exatamente o comportamento da região, uma vez que outros fatores influenciam sobre o comportamento do vento. Dessa forma, utilizou-se os princípios de Brown e Dekay (2004) para a fim de adaptar os dados de ventilação, são eles:

- A velocidade do vento diminui à medida que se aproxima da superfície da terra em função do atrito causado pela irregularidade do terreno;

- O ar continua movendo-se na mesma direção quando encontra um obstáculo, assim como a água flui ao redor de uma rocha;
- O ar flui de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão.

A fim de determinar as melhores estratégias para as aberturas, analisou-se a Carta Bioclimática adotada no Brasil (Figura 37). A Parte 3 da Norma Brasileira sobre Desempenho Térmico nas Edificações divide as áreas do território brasileiro em função de sua Zona Bioclimática (Figura 39). Por meio de sobreposição de mapas, identificou que o município de Barra Longa, localiza-se na Zona 3, ou seja, Zona de Resfriamento Evaporativo (Figura 38). A norma indica melhores práticas para as aberturas nessa zona.

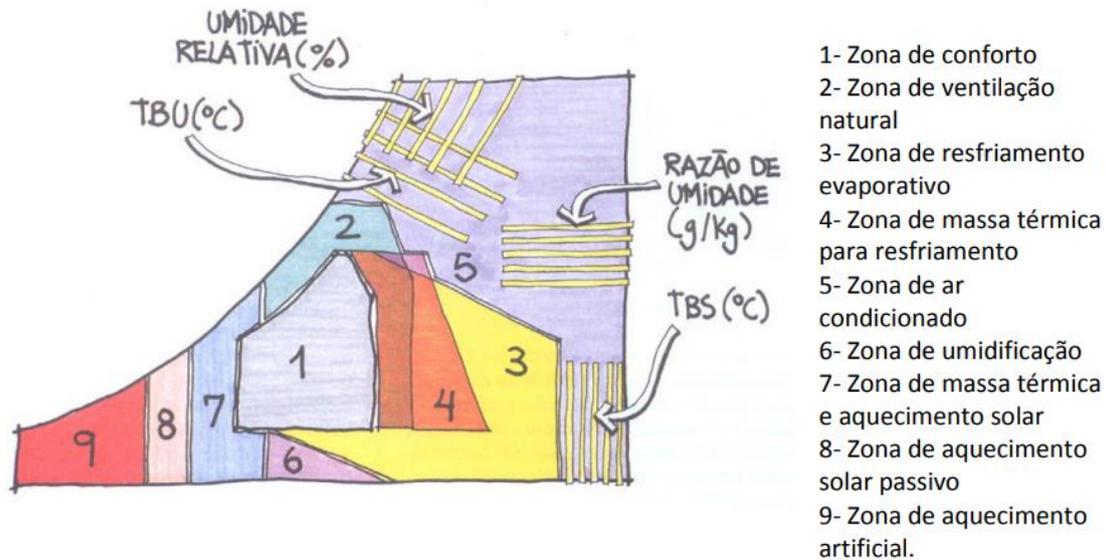


Figura 37 – Carta bioclimática adotada para o Brasil. Através das quatro informações (umidade relativa, TBU, TBS e razão de umidade) da região, define-se sua zona bioclimática (Fonte: Lamberts et al, 2004, p. 105)

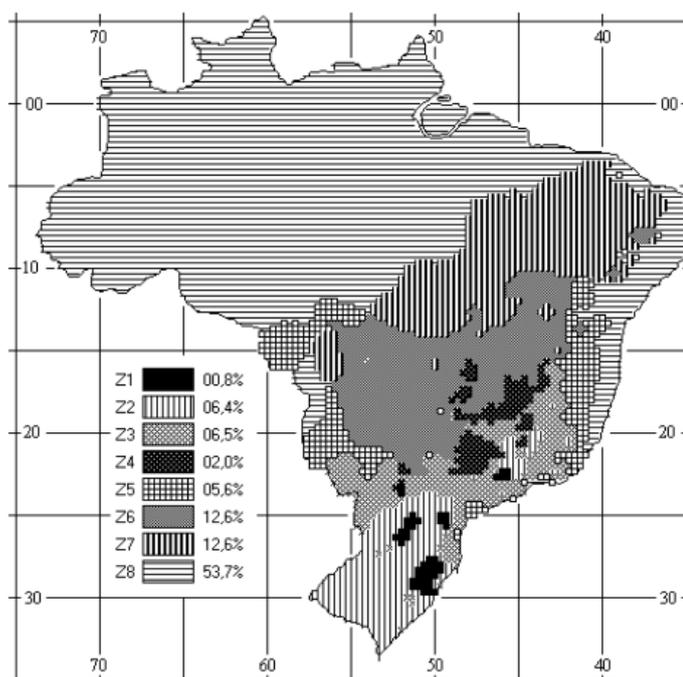


Figura 39 – Zoneamento bioclimática brasileiro (Fonte: ABNT ,2003)



Figura 38 – Sobreposição do mapa da zona bioclimática 3 (ABNT, 2003) com o mapa do brasil indicando a posição do município de Barra Longa (captura de tela do Google Maps)

Dessa forma, de acordo com a Norma, as estratégias para regiões localizadas nessa zona estão expressas na Tabela 9 a seguir (informações extraídas das tabelas 7, 8 e 9 da Norma)

<b>Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3</b>	
<i>Abertura para ventilação</i>	<i>Sombreamento das aberturas</i>
Média	Permitir sol durante inverno
<b>Tipos de vedação externas para a Zona Bioclimática 3</b>	
Parede: Leve refletora	
Cobertura: Leve isolada	
<b>Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3</b>	
<i>Verão</i>	Ventilação cruzada
<i>Inverno</i>	Aquecimento solar da edificação
	Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Tabela 9 – Estratégias para ventilação, sombreamento e vedação para a Zona Bioclimática 3 (Fonte: ABNT, 2003)

A ventilação natural cruzada ocorre quando as aberturas, janelas ou portas, da edificação ficam em paredes opostas ou adjacentes. Isso garante que o ar irá circular com maior rapidez já que o ar entra por uma abertura (zonas de alta pressão) e sai por outra (zonas de baixa pressão ou de sucção). O movimento ocorre devido às diferenças de pressões entre as aberturas.

O Atlas Eólico do Estado de Minas Gerais (CEMIG, 2010) foi base para definir a direção, frequências e velocidade dos ventos na região. Por meio de sobreposição da Rosa-dos-ventos anual (frequência x direção) de Minas Gerais e o Mapa de Minas Gerais com a localização do Município de Barra Longa em destaque, foi possível indicar o comportamento dos ventos na localidade. A Figura 40 indica a sobreposição e a Figura 41 a Rosa dos Ventos aproximada predominante no município.

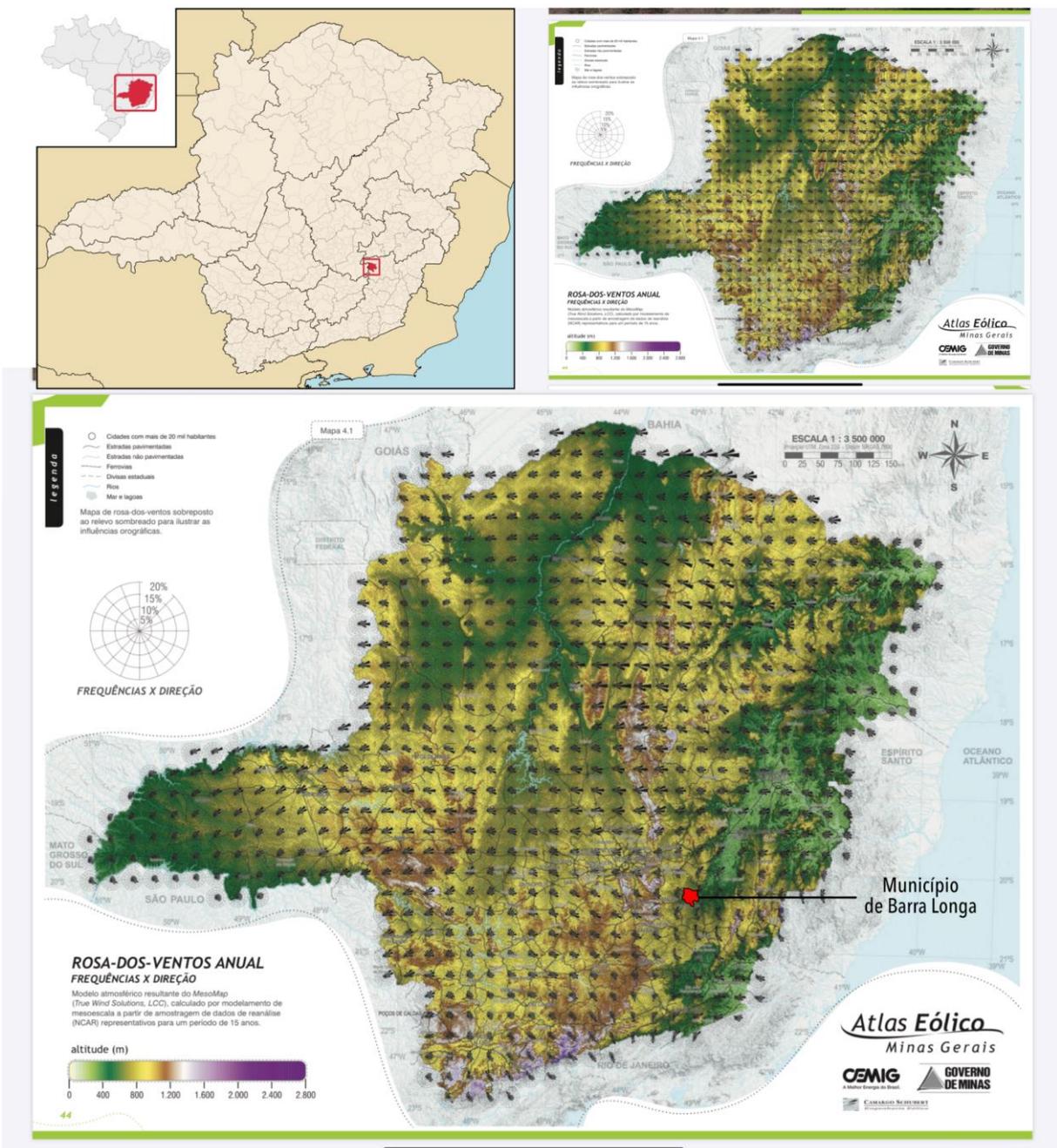


Figura 40 – Sobreposição do mapa da localização do município de Barra Longa em Minas Gerais com o mapa da Rosa-dos-Ventos anual. Localização aproximada do município indicada no mapa dos ventos (Fonte: modificado de CEMIG, 2010)

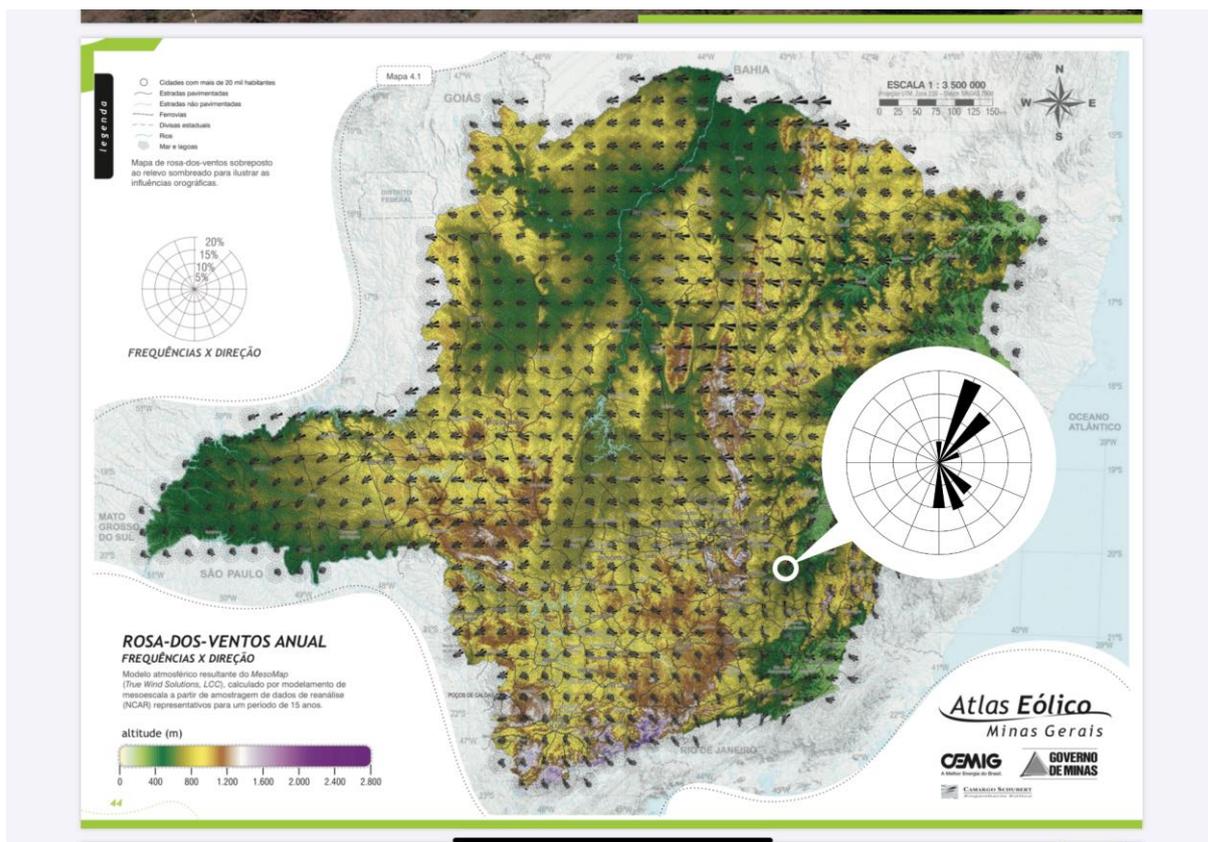


Figura 41 – Zoom na rosa dos ventos de direção mais próxima ao município de Barra Longa. A representação da rosa não é exata e foi desenhada por observação, indicando as direções com maiores frequências (Fonte: modificado de CEMIG, 2010)

De acordo com a Figura 41, os ventos são, predominantemente, nas direções Nordeste, Sul e Sudeste. Em relação à velocidade dos ventos, realizou-se o mesmo processo de sobreposição de mapas, mas desta vez com o mapa de Velocidades Normalizadas x Direção (Figura 42). Nesse sentido, os ventos predominantes possuem velocidades médias entre 1,0 e 1,25.



sem que ocorra de forma agressiva e desagradável aos usuários. Em questões práticas, tem-se que o sentido norte recebe a maior parte da insolação diária, leste recebe o sol da manhã, a sul recebe a luz mais fraca e a oeste tem o impacto mais forte, principalmente no período da tarde. A Figura 43 a seguir indica esboço com a posição do norte geográfico no terreno de aplicação do projeto, baseada em observação de imagens do Google Maps.

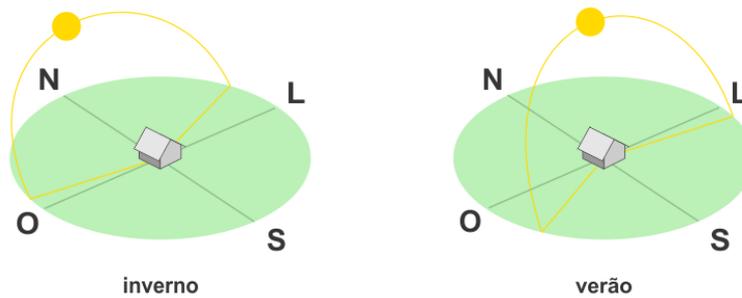


Figura 44 – Orientação solar na edificação de acordo com as estações do ano, verão e inverno. (Disponível em <<https://imagens-revista-pro.vivadecora.com.br/uploads/2018/07/orientacao-solar-arquitetura-posicao-do-sol-de-acordo-com-as-estacoes.png>> Acesso em junho de 2020.)

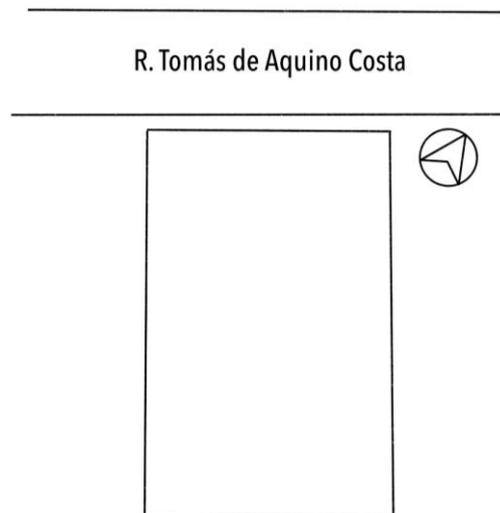


Figura 43 – Esboço do terreno de aplicação do projeto com indicação do norte geográfico (Fonte: Autor)

Somado à luz natural, tem-se a preocupação com a luz artificial, que contribuirá para a realização das atividades no espaço. A NBR/ISO 8995, prevê a intensidade de iluminação necessária em função do ambiente ( $E_m$ , expressa em lux), atividade ou tarefa executada no espaço. Além disso, indica também qual o Índice Limite de Ofuscamento Unificado (UGRL), para controle do desconforto, e Índice de reprodução de cor mínimo ( $R_L$ ), relacionado à percepção das cores dos objetos em função da luz.

O planejamento do espaço educacional em questão conta com os seguintes ambientes: salas de aula, gibiteca, administração, banheiros, cozinha e refeitório. Diante disso, tem-se na Tabela 10 a seguir a iluminância necessária, o UGR<sub>L</sub> e o R<sub>L</sub>.

<b><i>Especificação da Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor em função das áreas, tarefas e atividades</i></b>				
<b>Espaço</b>		<b>Em (lux)</b>	<b>UGRL</b>	<b>RL</b>
Sala de aula	Quadro negro	500	19	80
	Sala de aula	300		
Administração (sala de professores)		300	22	80
Gibiteca	Estante	200	19	80
	Área de leitura	500		
Refeitório/Cantina		200	22	80
Banheiros		200	25	80
Cozinha		200	25	80
Área de serviço		200	25	80
Circulação		100	28	40

Tabela 10 – Iluminância, Limitação de Ofuscamento e Qualidade da Cor em função das áreas, tarefas e atividades no espaço educacional planejado. (Fonte: NBR/ISSO 8995)

### 3.3.1.3 Telhado Verde

O planejamento do espaço educacional prevê adoção do telhado verde para a gestão das águas pluviais e reduzir as ilhas de calor, segundo a revisão bibliográfica. A IGRA (International Green Roof Association) classifica os telhados verdes em três categorias em função do tipo de vegetação, altura da estrutura e peso. São elas: Telhado Verde Extensivo, Telhado Verde Semi-intensivo e Telhado Verde Intensivo. A Tabela 11 a seguir indica as categorias e características correspondentes.

Característica	Telhado Verde		
	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Vegetação	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
Altura do sistema (mm)	60 - 200	120 - 250	150 - 400
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	60 - 150	120 - 200	180 - 500
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Custo	Baixo	Médio	Alto
Uso	Proteção ecológica	Telhado verde	Parque, jardim

Tabela 11 – Tipos de telhado verde e suas características (Fonte: IGRA, 2011)

Para o espaço educacional-cultural, escolheu-se o telhado Verde Extensivo por ser mais leve e de baixa manutenção, além de ser dispensável a irrigação. Diante disso, define-se o tipo de vegetação para a cobertura. A Tabela 12 a seguir reúne algumas das espécies viáveis para o telhado Verde Extensivo. Diante das opções apresentadas, optou-se pela Grama-Amendiom e Capuchinha

Plantas ideais para telhado verde extensivo				
Nome	Porte	Consumo de água	Origem	Característica
Grama Esmeralda	Forração	médio	Japão	Grande efeito estético e pouca manutenção
Grama São Carlos	Forração	médio	Mata Atlântica	Pouca manutenção e verde escuro intenso
Grama Amendiom	Forração	baixo	Cerrado	Não necessita de podas e tem flores amareladas
Dinheiro em Penca	Forração	baixo	Mata Atlântica	Ideal para áreas sombreadas
Lantana	Forração	baixo	Cerrado	Resistência a seca e flores de grande beleza

Plantas ideais para telhado verde extensivo				
Nome	Porte	Consumo de água	Origem	Característica
Capuchinha	Forração	médio	Peru e México	Flores de grande beleza, uso alimentício e medicinal

Tabela 12 – Plantas ideais para telhado verde extensivo. Na tabela não estão indicadas todas as opções possíveis, mas algumas mais utilizadas. (Disponível em <<http://skygarden.com.br/index.php/telhados-verdes/opcoes-de-plantas>> Acesso em junho de 2020

### 3.3.1.4 Captação de água pluvial

O telhado verde será associado ao sistema de captação de água da chuva. O sistema de aproveitamento para fins não optáveis foi dimensionado seguindo a ABNT NBR 15527/2007 para o dimensionamento do reservatório, e a ABNT NBR 10844/1989, para o dimensionamento das calhas e condutores verticais e horizontais.

Para as calhas, a NBR 10844 indica que o dimensionamento está relacionado à vazão de projeto adotada. Para isso é necessário o conhecimento da área de contribuição (A) e a intensidade pluviométrica (I).

A determinação da intensidade I, para fins de projeto, deve ser feita a partir da fixação de valores adequados para a duração de precipitação e o período de retorno. Tomam-se como base dados pluviométricos locais. A Norma prevê que, para coberturas ou terraços, o tempo de retorno é de 5 anos e fixa-se duração da precipitação em 5 min. Em anexo da mesma norma, são revelados os valores das intensidades pluviométricas de algumas cidades do Brasil para períodos de retorno iguais a 1, 5 e 25 anos. Adotou-se a intensidade pluviométrica da localidade de Ouro Preto, MG, por apresentar climatologia semelhante ao município de Barra Longa. A intensidade nessa localidade, segundo a NBR 10844 é de 211 mm/h para período de retorno de 5 anos.

Em relação a área de contribuição A, no caso do trabalho em questão, refere-se a área do telhado verde. Para superfícies inclinadas, a norma indica o cálculo a ser seguido para determinação da área de contribuição. A Figura 46 a seguir indica tal caso. Diante disso, deve-se conhecer a geometria da cobertura. A Figura 45 a seguir ilustra as dimensões (em corte e planta) da área responsável pela coleta.

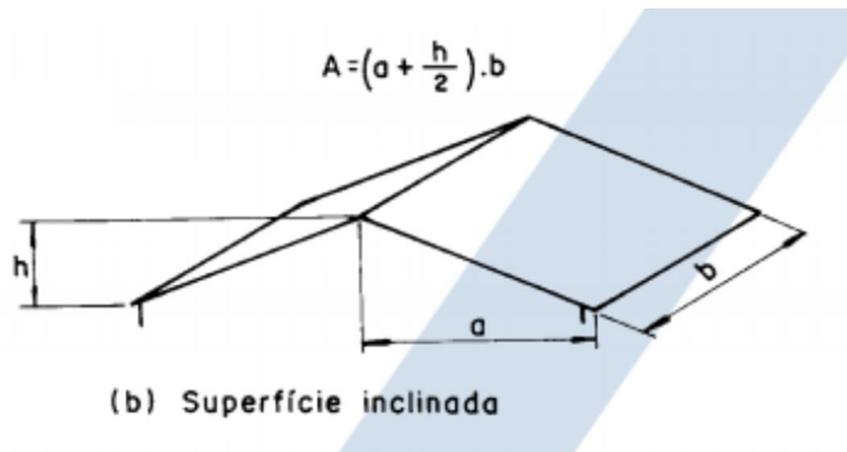


Figura 46 – Cálculo da área de contribuição de coleta de água da chuva para superfícies inclinadas (Fonte: ABNT, 1989)

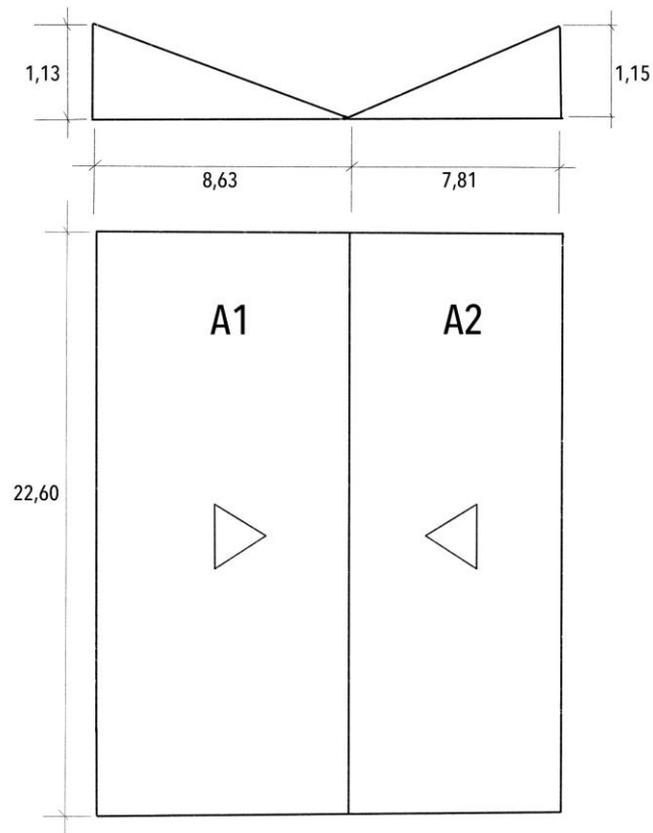


Figura 45 – Geometria da superfície de captação com dimensões em metros. Acima esta o esboço do corte transversal do telhado e abaixo, a vista em planta. Nota-se que o direcionamento das abas coincide em uma mesma calha, logo área de contribuição será a soma das áreas A1 e A2. (Fonte: Autor)

Uma vez que as abas da área de captação estão direcionadas para a mesma calha, a área de contribuição será o somatório das áreas A1 e A2, totalizando 397,81 m<sup>2</sup>. O cálculo está indicado a seguir:

$$A = A1 + A2 = \left(8,63 + \frac{1,13}{2}\right) \times 22,60 + \left(7,81 + \frac{1,15}{2}\right) \times 22,60 = 397,81 \text{ m}^2$$

O próximo passo foi determinar a vazão de projeto (Q), que, segundo a NBR 10844, é expressa por:

$$Q = \frac{I \times A}{60} = \frac{211 \times 397,81}{60} = 1398,97 \text{ L/min}$$

Com a vazão definida, é possível dimensionar a calha. A seção transversal do condutor deve ser definida entre as opções oferecidas no mercado. Optou-se por calha de seção semicircular. O dimensionamento da calha, segundo a Norma, segue a fórmula de Manning-Strickler sobre escoamento superficial. Para tal geometria, a equação é dada por:

$$Q = 9350,6 * \left(\frac{i^{0,5}}{n}\right) \times D^{\frac{8}{3}}$$

A incógnita “i” indica a declividade da calha, expressa em m/m. Segundo a Norma, a inclinação mínima é de 0,5%. O coeficiente de rugosidade (n) é relacionado ao material composto pela calha. A Tabela 13 a seguir indica os coeficientes em função do material. Optou-se por calha de plástico, portanto, o coeficiente de rugosidade é 0,011.

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não revestida	0,015

Tabela 13 – Coeficientes de rugosidade em função do material da calha (Fonte: ABNT, 1989)

Dessa forma, define-se o diâmetro do semicírculo pela fórmula de Manning-Strickler a seguir. O valor do diâmetro mínimo da calha circular para a vazão de projeto calculada foi de 188 mm, para inclinação de 2%. Portanto, o diâmetro comercial viável para o sistema é igual a 200mm.

$$D = \left( \frac{Q \times n}{9350,6 \times i^{0,5}} \right)^{\frac{3}{8}} = \left( \frac{1398,97 \times 0,011}{9350,6 \times 0,02^{0,5}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0,188m$$

Seguindo a NBR 10884, os condutores verticais são dimensionados através de ábacos. Para isso são necessárias as seguintes informações: Vazão de projeto (Q), Altura da lâmina d'água na calha (H) e comprimento do condutor vertical (L). Uma vez que a calha possui diâmetro de 200mm, a altura da lâmina d'água é de 100mm por ser seção semicircular. Para o comprimento do condutor vertical, considerou-se o valor de 3 metros, no entanto, será menor por conta do reservatório de armazenamento da água pluvial. Através do ábaco, extraiu-se o valor de aproximadamente 87 mm. Portanto o valor comercial do tubo de queda é de 100 mm. A Figura 47 a seguir indica o ábaco com os valores de Q, H e L para definição do diâmetro do tubo de queda. Considerou-se calha com funil de saída.

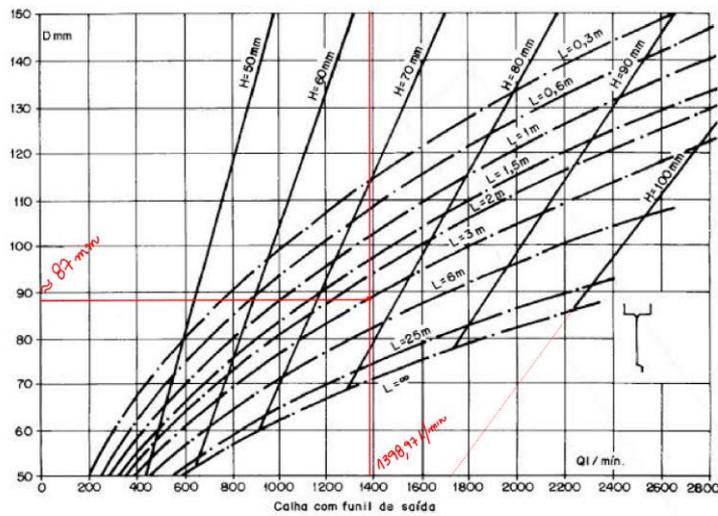


Figura 47 – Âbaco para determinação do diâmetro dos condutores verticais para calhas com saída com funil. Nota-se a entrada dos valores de Q, H e L para determinação do diâmetro. (Fonte: modificado de ABTN, 1989)

Em relação ao reservatório. O dimensionamento foi realizado através do Método Azevedo Neto presente na NBR ABNT 15527:2007. Neste método o volume da cisterna é expresso por:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T$$

Na expressão, P indica o valor numérico da precipitação anual, em mm. A é a área de coleta em projeção, em m<sup>2</sup>, e T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca. A área em projeção é dada pelas áreas das abas em planta (Figura 45). A definição do número de meses de pouca chuva ou de seca foi definido pelo método de Gregory (1979). Segundo o autor, definem-se mês seco e mês chuvoso como sendo aqueles cujo valor da pluviosidade é menor e maior que a mediana da série, respectivamente. A Tabela 14 a seguir indica os valores presentes na Fundamentação Teórica sobre as médias mensais de precipitação ao longo do ano no Município de Barra Longa (série de 30 anos).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jun	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Índice pluviométrico (mm)	285	150	165	72	34	12	10	20	58	101	214	307
Média (mm)	119											
Mediana (mm)	86,5											

Tabela 14 – Índice pluviométrico médio ao longo do ano no município de Barra Longa. A tabela expressa também a média, utilizada no Método de Azevedo para determinação do volume da cisterna, além da mediana, para definir o número de meses de seca. (Fonte: Climatempo, 2020)

A partir da mediana dos valores médios, define-se que o número de meses de seca é igual a 6. Apesar do Método Azevedo Neto utilizar a precipitação média anual, considerou-se a média das precipitações mensais na expressão. Diante disso o volume do reservatório para o sistema de captação de águas pluviais é dado por:

$$V = 0,042 \times 119 \times [22,30 \times (8,63 + 7,81)] \times 6 = 11141,86 L$$

A água coletada por esse sistema possui fins não potáveis. Para o projeto em questão, a água poderá ser usada para a limpeza do pátio da escola. Além disso, posicionou-se o reservatório de forma acessível e visível às pessoas, sendo, portanto, ferramenta de Educação Ambiental.

### 3.3.1.5 COVID 19, recomendações OMS e adaptação nos espaços.

Os ambientes de trabalho sofrem adaptações constantes ao longo do tempo de acordo com a necessidade e o surgimento de novas propostas e tecnologias (VIEIRA, 2019). Atualmente, a pandemia do novo coronavírus trouxe demandas para o planejamento dos espaços, bem como seus modos de utilização.

O planejamento de um espaço sempre deve garantir o bem estar e segurança aos ocupantes (FRANCO, 2020). No entanto, a pandemia do novo coronavírus exigiu a utilização de adaptações, ferramentas e materiais pouco explorados durante o planejamento, além das adaptações relacionada ao comportamento dos usuários.

No layout, tem-se a preocupação com a ventilação natural. Além de garantir o conforto térmico dos ambientes internos, principalmente em regiões quentes, é

responsável pela renovação de ar, redução da umidade do ambiente, remoção poluentes, economia energia e redução de emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à climatização artificial (CALDAS, 2020).

A (FINDES, 2020) reuniu em cartilha algumas medidas de prevenção contra o coronavírus nos ambientes de trabalho, baseadas nas recomendações da Organização Mundial da Saúde. Além da priorização pela ventilação natural, o documento reúne outras medidas relacionadas ao layout dos espaços. A questão do distanciamento social reflete nesse planejamento, uma vez que as estações de trabalho devem estar dispostas com pelo menos 1,5m de distância umas das outras.

As adaptações também são fundamentais para garantir a recomendações da OMS. A higienização das mãos é umas das principais formas de prevenção. Dessa forma, a opção por mecanismos que evitam a utilização dessas extremidades são soluções eficazes. Para isso, opta-se por portas automáticas, torneiras e descargas acionadas por pedal, por exemplo. Além disso, o uso de barreiras e divisórias transparentes auxiliam no distanciamento e são adaptações para as mobílias (mesas e balcões de recepção).

### **3.3.2 Hidrossanitário (reservatório)**

Em relação ao projeto hidrossanitário, o dimensionamento do reservatório de água tem influência nas questões estruturais da edificação, uma vez que será posicionado sobre a estrutura. Dessa forma, o peso do reservatório torna-se uma carga permanente nos elementos de sustentação. Além disso, a previsão do posicionamento do reservatório influenciou no layout da cobertura. Nos banheiros, a cobertura possui maior inclinação a fim garantir o posicionamento da caixa d'água próxima aos pontos de consumo.

A capacidade do reservatório, segundo a NBR 5626:1998, deve ser estabelecida levando-se em consideração o padrão de consumo de água no edifício e, onde for possível obter informações, a frequência e duração de interrupções do abastecimento. De acordo com a Tabela 15 a seguir, o consumo diário de espaços educacionais com refeitório (escola semi-internato) é de 100L per capita.

Prédio	Consumo (litros/dia)
Alojamento provisório	80 <i>per capita</i>
Ambulatórios	25 <i>per capita</i>
Apartamentos	200 <i>per capita</i>
Casas populares ou rurais	150 <i>per capita</i>
Cavalariças	100 por cavalo
Cinemas e teatros	2 por lugar
Creches	50 <i>per capita</i>
Edifícios públicos ou comerciais	50 <i>per capita</i>
Escolas (externatos)	50 <i>per capita</i>
Escolas (internatos)	150 <i>per capita</i>
Escolas (semi-internato)	100 <i>per capita</i>
Escritórios	50 <i>per capita</i>
Garagens e posto de serviço	50 por automóvel/200 por caminhão
Hotéis (sem cozinha e sem lavanderia)	120 por hóspede
Hotéis (com cozinha e com lavanderia)	250 por hóspede
Indústrias – uso pessoal	80 por operário
Indústrias – com restaurante	100 por operário
Jardins (rega)	1,5 por m <sup>2</sup>
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Matadouro – animais de grande porte	300 por animal abatido
Matadouro – animais de pequeno porte	150 por animal abatido
Mercados	5 por m <sup>2</sup> de área
Oficinas de costura	50 <i>per capita</i>
Orfanatos, asilos, berçários	150 <i>per capita</i>
Piscinas – lâmina de água	2,5 cm por dia
Postos de serviços para automóveis	150 por veículo
Quartéis	150 <i>per capita</i>
Residência popular	150 <i>per capita</i>
Residência de padrão médio	200 <i>per capita</i>
Residência de padrão luxo	250 <i>per capita</i>
Restaurantes e outros similares	25 por refeição
Templos	2 por lugar

Tabela 15 – Consumo diário de água em função do tipo de edificação. Nota-se que escolas (semi-internato) consomem 100L/dia per capita (Fonte: Carvalho Junior, 2014)

A ocupação da edificação foi definida através da quantidade pessoas utilizando a edificação simultaneamente. Foram previstos: 20 alunos, 2 professores, 6 trabalhando na limpeza e cozinha e 2 na administração, que totalizam 30 pessoas. Dessa forma, consumo diário ( $C_d$ ) da edificação é de 3000 L. A expressão do consumo diário está indicada a seguir.

$$C_d = \text{Consumo per capita} \times \text{Ocupação} = 100_{L/capita} \times 30_{pessoas} = 3000L$$

Uma vez que não se conhece a frequência de abastecimento de água do distrito de Gesteira, no local do planejamento, utilizou-se o recomendado pela norma, dimensionando o reservatório com capacidade suficiente para dois dias de uso, portanto, 6000 L. Além disso, em função da segurança, é importante um reservatório para combate ao incêndio.

Segundo a NBR 13714:2000, espaços educacionais exigem o sistema tipo 1, ou seja, vazão de 100L/min e duração de 60 min. Portanto a reserva de incêndio deve ser de 6000 L, totalizando 12000 de reserva de água para a edificação em questão.

A NBR 5626:1998 sugere que, para reservatórios de maior capacidade, devem ser divididos em dois ou mais compartimentos para permitir operações de manutenção sem que haja interrupção na distribuição de água. Portanto, a reserva será dividida em dois reservatórios de 6000 L. No mercado, o modelo de caixa d'água com tal volume possui as seguintes dimensões: altura de 188 cm e diâmetro de 222 cm (Figura 48).



Figura 48 – Caixa d'água Acqualimp 6000L (Disponível em <<https://www.acqualimp.com/produto/tanques-acqualimp/>> Acesso mar 2020)

### **3.3.3 Fotovoltaico**

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, são necessárias as seguintes informações: consumo médio de energia, Índice Solarimétrico local e ficha de dados da placa fotovoltaica. Tais informações, o dimensionamento e suas considerações estão expostos a seguir.

#### **3.3.3.1 Consumo**

O consumo médio de energia foi definido considerando a iluminação artificial, eletrodomésticos e eletrônicos previsto para o local. O somatório dos gastos totalizou em consumo de aproximadamente 1030 kWh por mês.

##### **3.3.3.1.1 Iluminação artificial**

Em função da intensidade de iluminação necessária para cada ambiente (seção 3.3.1.2), calculou-se a quantidade de lúmens (unidade de medida de fluxo luminoso) necessário para cada espaço. Com auxílio do catálogo de lâmpadas da Philips, foi possível indicar os equipamentos. Optou-se por lâmpadas LED, em função da sua redução no consumo de energia.

Para o cálculo do gasto energético das lâmpadas, são necessárias as seguintes informações: quantidade de lâmpadas, as potências dos equipamentos e o tempo de uso médio diário. Assim, define-se o consumo em kWh/mês. Para isso, considerou que a escola funcionará em dois períodos, totalizando 16h por dia durante 28 dias (a iluminação natural não foi considerada, mas contribui na redução do tempo de uso da iluminação artificial, uma vez que o layout foi pensado para tal aproveitamento). A Tabela 16 a seguir indica o consumo.

Ambiente	Lâmpadas	Fluxo luminoso (lm)	Potência (W)	Quantidade	Tempo de uso diário (h)	Consumo (kWh/mês)
Sala 1	Master LEDtube HF 1200mm HO 26W 840 T5	3900	26	5	16	56,11
Sala 2	Master LEDtube HF 1200mm HO 26W 840 T5	3900	26	4	16	43,88
Gibiteca (leitura)	Master LEDtube HF 1200mm HO 26W 840 T5	3900	26	1	16	10,56
Gibiteca (estantes)	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8 I W	2100	18	2	16	13,31
Adm	Master LEDtube HF 1200mm HO 26W 840 T5	3900	26	2	16	17,53
Banheiro individual	CorePro LED PLC 9W 840 4P G24q-3	1000	9	1	16	3,89
Banheiro Masc	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	1050	10	2	16	8,29
Banheiro Fem	Master LEDTube 600 mm 10W 840 T8 I W	1050	10	2	16	8,29
Cozinha	Master LEDTube 1200 mm 18W 840 T8 I W	2100	18	3	16	24,19
Área de serviço	MASTER LEDtube 1200mm 13W840 G5 I	1600	13	1	16	5,82
Refeitório	CorePro LEDtube 600mm 9W 830 T8C W G	900	9	8	16	31,73
Circulação	CorePro LEDtube 600mm 9W 830 T8C W G	900	9	5	16	18,42
<b>Total</b>						<b>242,01</b>

Tabela 16 – Tabela do consumo de energia por iluminação artificial. Modelos de lâmpadas do catálogo da Philips (Fonte: Autor)

### 3.3.3.1.2 Outros equipamentos

Além do gasto com a iluminação artificial, o planejamento da escola prevê o uso de outros equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos. São eles: geladeira, freezer, liquidificador, bebedouro, impressora, computadores e projetores. Verificou-se a potência aproximada de cada aparelho e estimou-se o tempo de uso diário. A Tabela 17 a seguir indicam tais aparelhos e o consumo.

Equipamento	Potência aproximada (W)	Quantidade	Tempo de uso diário (h)	Consumo (kWh/mês)
Geladeira Duplex	500	1	24	336
Freezer vertical	300	1	24	201,6
Liquidificador	200	1	1	5,6
Notebook	30	2	8	13,44
Bebedouro	100	3	16	134,4
Projeter	200	2	8	89,6
Impressora	45	1	5	6,3
<b>Total</b>				<b>786,94</b>

Tabela 17 – Consumo de energia por eletrônicos e eletrodomésticos (Fonte: Autor)

### 3.3.3.2 Índice Solarimétrico local

Os dados sobre a radiação solar no local foram coletados através do Atlas Solarimétrico do Brasil, de 2000. O mapa utilizado foi o da média anual da radiação solar global diária, dada em MJ/m<sup>2</sup>. dia. Por sobreposição de mapas, o município de Barra Longa encontra-se em região com radiação igual a 14 MJ/m<sup>2</sup>.dia (3,89 kWh/m<sup>2</sup>.dia). O mapa modificado está indicado na Figura 49 a seguir.

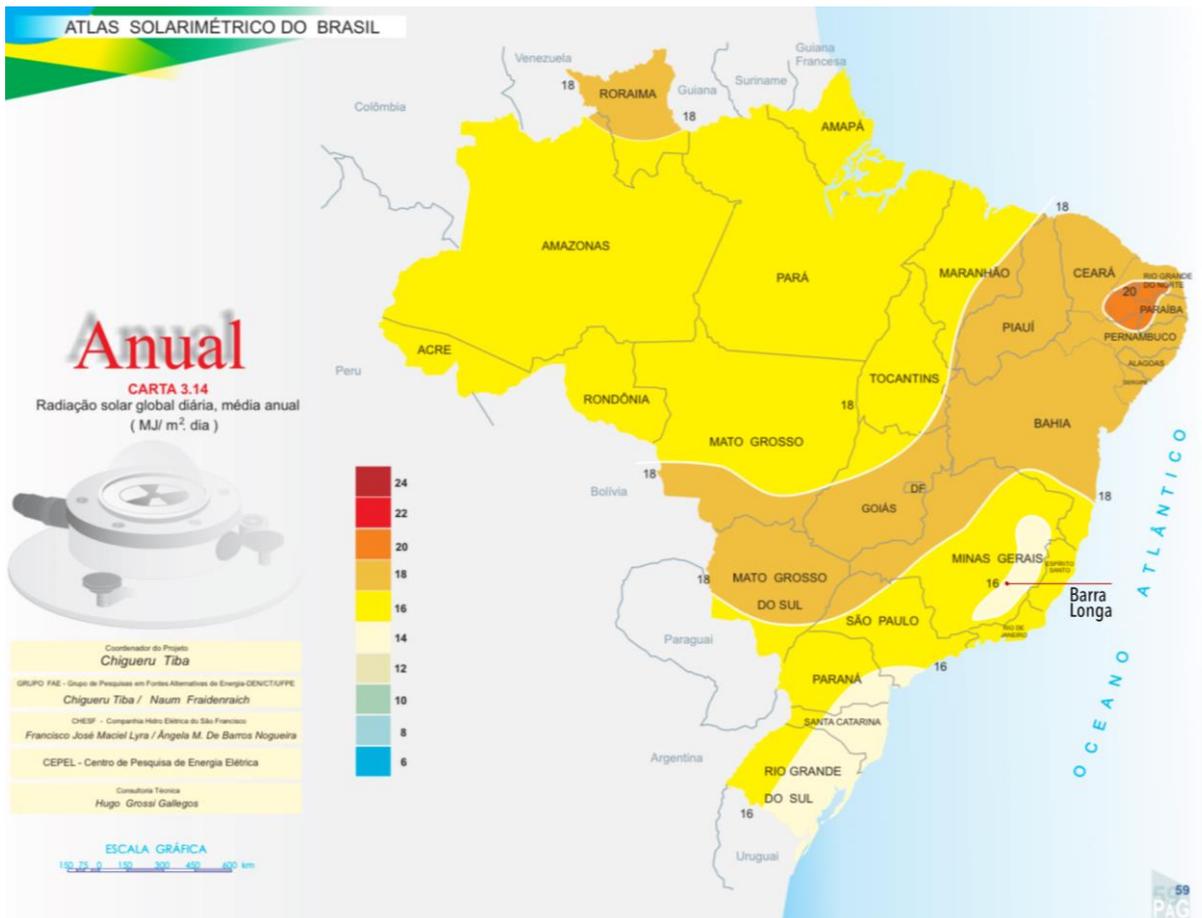


Figura 49 – Mapa da média anual da radiação solar global diária no Brasil (Fonte: modificado de CRESESB, 2000)

### 3.3.3.3 Placas Fotovoltaicas

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, definiu-se o módulo fotovoltaico dentro das opções de mercado. Os dados do equipamento estão indicados na Tabela 18 a seguir. São placas de 370W, com potência nominal máxima ( $P_{max}$ ) de 275W. Tal característica foi definida sob temperatura nominal de operação do módulo fotovoltaico (NMOT) com irradiação de 800W/m<sup>2</sup>.

**DADOS ELÉTRICOS | STC\***

CS3U	355P	360P	365P	370P
Máx. potência nominal (Pmax)	355 W	360 W	365 W	370W
Tensão de operação (Vmp)	39,4 V	39,6 V	39,8 V	40,0 V
Corrente de operação (Imp)	9,02 A	9,10 A	9,18 A	9,26 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	46,8 V	47,0 V	47,2 V	47,4 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,59 A	9,67 A	9,75 A	9,83 A
Eficiência do módulo	17,89%	18,15%	18,40%	18,65%
Temperatura de operação	-40°C ~ +85°C			
Máx. Tensão do Sistema	1500V (IEC/UL) ou 1000V (IEC/UL)			
Desempenho antichamas do módulo	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Valor máximo do fusível em série	30 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

\* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

**DADOS ELÉTRICOS | NMOT\***

CS3U	355P	360P	365P	370P
Máx. potência nominal (Pmax)	264 W	268 W	271 W	275 W
Tensão de operação (Vmp)	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente de operação (Imp)	7,21 A	7,27 A	7,34 A	7,40 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	43,9 V	44,1 V	44,3 V	44,4 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	7,74 A	7,80 A	7,87 A	7,93 A

\* Sob temperatura nominal de operação do módulo (NMOT), irradiância de 800 W/m<sup>2</sup>, espectro AM 1,5, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1 m/s.

**DADOS MECÂNICOS**

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalina, 156,75 × 78,38 mm
Arranjo de células	144 [2 × (12 × 6)]
Dimensões	2000 × 992 × 35 mm (78,7 × 39,1 × 1,38 pol.)
Peso	22,5 kg (49,6 lbs)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado, com barra transversal
Caixa de Junção	IP68, 3 diodos
Cabo	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Comprimento do Cabo	Retrato: 400 mm (15,7 pol.) (+) / 280 mm (11,0 pol.) (-); paisagem: 1250 mm (49,2 pol.); conexão leap-frog: 1670 mm (65,7 pol.)*
Conector	Série T4, H4 UTX ou MC4-EVO2
Por palete	30 peças
Por container (40' HQ)	660 peças

**CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA**

Especificação	Dados
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,37 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,29 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Temperatura Nominal de Operação do Módulo	42 ± 3°C

Tabela 18 – Dados do módulo fotovoltaico da Canadian Solar (Disponível em:

<<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom/upload/File-1594840569.pdf>> Acesso em novembro de 2020)

**3.3.3.4 Tarifas**

Além das questões ambientais relacionadas ao sistema, destaca-se sua resposta nas contas de luz. Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), os portadores do sistema fotovoltaico passam por sistema de compensação de energia elétrica, ou seja, o consumo de energia é deduzido da quantidade de energia injetada pelo sistema. Dessa forma, em caso de energia consumida igual a energia injetada, o valor da conta de luz será igual à tarifa mínima (somatório da taxa de iluminação pública e outros custos dependendo da categoria da edificação). (ANEEL, 2012)

Em Minas Gerais, a concessionária é a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Considerando a escola como Categoria B3 (demais classes), a tarifa a ser cobrada é de 0,64463 R\$/kWh. Portanto, caso a quantidade de energia injetada pelo sistema fotovoltaico seja igual ou superior ao consumo, a conta de luz teria redução de aproximadamente R\$ 664,00 para consumos de 1030 kWh/mês.

### 3.3.4 Estrutural

A estrutura do espaço educacional será composta por elementos de bambu (pilares e vigas), apoiados sobre sapatas de concreto armado. Além disso, as paredes de COB também possuem função estrutural, além da vedação. No entanto, uma vez que não existem normalizações sobre construção em terra somado à não execução da análise do solo, considerou-se que o bambu é o único responsável pela transmissão dos esforços.

Já que não existem normas brasileiras sobre construções em bambu, o dimensionamento das vigas e pilares foram realizados através das orientações da Norma Colombiana G-NSR-10 (2010). A norma adota o método das tensões admissíveis para avaliação dos esforços resistentes de elementos estruturais, e contempla apenas a possibilidade do uso do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. A Tabela 19 apresenta as tensões características ( $F_k$ ) a flexão, tração, compressão e cisalhamento para o Bambu *Guadua angustifolia*. Já a tabela x expressa os Módulos de Elasticidade ( $E_i$ )

<b>Tensões características (<math>F_k</math>), em MPa</b>				
<b>F<sub>b</sub></b> (Flexão)	<b>F<sub>t</sub></b> (Tração)	<b>F<sub>c</sub></b> (Compressão paralela às fibras)	<b>F<sub>p</sub></b> (Compressão perpendicular às fibras)	<b>F<sub>v</sub></b> (Cisalhamento)
<b>15</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>

Tabela 19 – Valores das tensões admissíveis para as diferentes solicitações nos elementos de bambu. Os valores da tabela são para bambu com coeficiente de humidade igual a 12% (Fonte: G-NRS-10, 2010)

<b>Módulos de Elasticidade (Mpa)</b>		
<b>Médio E<sub>0,5</sub></b>	<b>Percentil 5 E<sub>0,05</sub></b>	<b>Mínimo E<sub>min</sub></b>
9500	7500	4000

Tabela 20 – Módulos de elasticidade para bambu com coeficiente de humidade de 12%. Para análise de elementos estruturais, utiliza-se o E<sub>0,5</sub>. E<sub>min</sub> para o coeficiente de estabilidade das vigas, e o E<sub>0,05</sub> para cálculos de deflexão. (Fonte: G-NRS-10, 2010)

As tensões características, segundo a norma, sofrem redução, em função do tipo de solicitação, a fim determinar qual a tensão admissível. A tabela a seguir indica

quais os coeficientes de redução, além da expressão que determina a tensão admissível ( $F_i$ )

<b>Fator de Redução</b>	<b>Fb (Flexão)</b>	<b>Ft (Tração)</b>	<b>Fc (Compressão paralela às fibras)</b>	<b>Fp (Compressão perpendicular às fibras)</b>	<b>Fv (Cortante)</b>
<b>FC</b>	-	<b>0,5</b>	-	-	<b>0,6</b>
<b>Fs</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>
<b>FDC</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>
<b>Tensão admissível (<math>F_i</math>)</b>					
$F_i = \frac{FC}{F_s FDC} f_k$					

Tabela 21 – Valores do fator de redução para as diferentes solicitações. A expressão na parte inferior da tabela indica o cálculo para a determinação da tensão admissível em função dos fatores e da tensão característica (Fonte: G-NRS-10,2010)

Além disso, as tensões admissíveis de todos os elementos estruturais são alteradas de acordo com as condições de modificação. Tais são avaliadas pelos seguintes coeficientes: de duração da carga ( $C_D$ ), humidade ( $C_m$ ), temperatura ( $C_t$ ), estabilidade lateral das vigas ( $C_L$ ), modificação por forma ( $C_F$ ), redistribuição das cargas ( $C_r$ ), estabilidade de colunas ( $C_p$ ), cortante ( $C_c$ ). Diante disso as forças admissíveis modificadas são calculadas da seguinte forma:

$$F_i' = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c$$

A Tabela 22 a seguir indica os valores de CD em função do tipo de solicitação e da duração da carga. Todas as cargas foram consideradas como permanentes e estão indicadas em tópico a seguir.

**Tabla G.12.7-4**  
**Coeficientes de modificación por duración de carga**

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
7 días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Tabela 22 – Coeficientes de modificação por duração da carga ( $C_D$ ). Tabela G.12.7-4 da Norma Colombiana (Fonte: G-NRS-10, 2010)

Os coeficientes de modificação por humidade estão expressos na Tabela 23 a seguir. Nota-se também a alteração do módulo de elasticidade em função da humidade. Para efeitos deste trabalho, considerou-se humidade igual a 12%, logo, o coeficiente é 1,0. Já a Tabela 24 indica os valores do coeficiente de modificação por temperatura. No entanto, os valores não sofrerão alteração uma vez que foram consideradas temperaturas menores que 37°C, logo, o coeficiente é 1,0.

Esfuerzos		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexión	$F_b$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	$F_t$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	$F_c$	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	$F_p$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	$F_y$	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	$E_{min}$								

Tabela 23 – Coeficientes de modificação por humidade ( $C_m$ ) (Fonte: G-NRS-10, 2010)

Esfuerzos		Condiciones de servicio	$(C_t)$		
			$T \leq 37^\circ\text{C}$	$37^\circ\text{C} \leq T \leq 52^\circ\text{C}$	$52^\circ\text{C} \leq T \leq 65^\circ\text{C}$
Flexión	$F_b$	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	$F_t$	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	$F_c$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	$F_p$	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	$F_y$	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Modulo de elasticidad	E	Húmedo	0.80	0.80	
		Seco	0.90		

Tabela 24 – Coeficientes de modificação por temperatura ( $C_t$ ) (Fonte: G-NRS-10, 2010)

O coeficiente de modificação por estabilidade lateral da viga ( $C_L$ ) é dado em função da geometria da seção transversal do elemento. Para elementos compostos (2 ou mais bambus na seção), a relação entre altura da seção ( $d$ ) e largura ( $b$ ) indica qual coeficiente utilizar, como mostra Tabela 25 a seguir. A Figura 50 indica um exemplo de seção composta por dois bambus.

$d/b$	$C_L$
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

Tabela 25 – Coeficientes de modificação por estabilidade lateral da viga ( $C_L$ ) em função da geometria da seção transversal (Fonte: G-NRS-10, 2010)

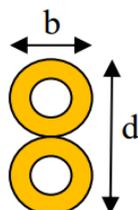


Figura 50 – Exemplo de seção transversal composta de elemento estrutural de bambu (Fonte: G-NRS-10, 2010)

O coeficiente de modificação por cortante ( $C_c$ ) é dado também em função da geometria o elemento. Para divisões entre comprimento ( $l$ ) e diâmetro externo ( $D_e$ ) maiores que 15, o coeficiente é 1,0. Para outros valores, segue a Tabela 26 a seguir.

$l/D_e$	$C_c$
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Tabela 26 – Coeficiente de modificação por cortante ( $C_c$ ). (Fonte: G-NRS-10, 2010)

### 3.3.4.1 COB

Segundo a revisão bibliográfica das estruturas em COB, tem-se o dimensionamento das paredes. Segundo Salazar (2011), essas estruturas possuem seção transversal trapezoidal, sendo espessura da base menor (superior) superior ou igual a 25 cm, e a base maior (inferior) segue a seguinte equação, em função da altura  $h$  da parede:

$$Base = \frac{5h}{90} + 25 \text{ (em centímetros)}$$

Admitindo a altura da parede de 300 cm, a espessura da base da parede de COB será de:

$$Base = \frac{5 \times 300}{90} + 25 = 42 \text{ cm}$$

Além da geometria das paredes, para as estruturas em COB é interessante o estudo do solo que será utilizado. Nos fundamentos teóricos foram definidos alguns ensaios que seriam realizados durante a metodologia. No entanto, o uso do Laboratório de Solos tornou-se restrito durante a pandemia do coronavírus. Dessa forma, tais análises de solos serão realizadas em trabalhos futuros.

### **3.3.4.2 Bambu**

As considerações e procedimentos de cálculo para a estrutura de bambu do espaço educacional tiveram como base teórica, além das normas Colombiana utilizadas, o artigo de João Luis Guedes Pinto et al (2019). Nele foi dimensionado um prédio simples de 2 pavimentos através do método de tensões admissíveis. O software utilizado para a análise estrutural foi o MASTAN2.

#### **3.3.4.2.1 Propriedades geométricas das seções transversais**

Para o pré-dimensionamento definiu-se as seções transversais dos elementos estruturais (vigas e pilares). Para isso, buscou-se informações sobre seções tipicamente utilizadas.

A Norma Colombiana NRS-10 indica procedimento para a determinação do diâmetro e espessura reais do bambu. O diâmetro é dado através da média de quatro medições ao longo do comprimento, enquanto a espessura é a média de oito pontos.

Estudos realizados com o bambu da espécie *Guadua angustifolia* definiram propriedades físicas e mecânicas. A Gráfico 3 apresenta os valores médios da espessura da parede ao longo do comprimento do colmo (z). O Gráfico também indica a expressão matemática extraída através da análise da regressão do comportamento da curva (GHAVAMI e MARINHO, 2005).

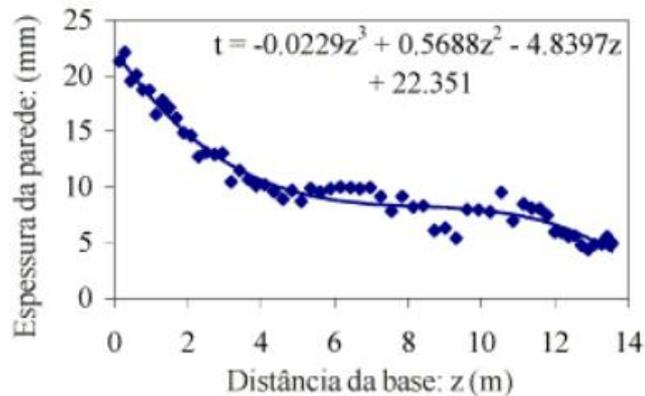


Gráfico 3 – Espessura da parede Fonte: (GHAVAMI e MARINHO, 2005)

O valor do diâmetro externo ( $D_e$ ), utilizado nos cálculos de dimensionamento, foi baseado no estudo de João Luis Guedes Pinto et al (2019), e a espessura da parede foi a média dos valores nas posições 0, 2, 4 e 6 m ao longo do colmo, indicados no Gráfico 3. Definiram-se as seguintes características de seção transversal: diâmetro externo ( $D_e$ ) de 100 mm e espessura da parede ( $t$ ) com 15 mm (Tabela 27).

$D_e$ (mm)		150		
Espessura $t$ (mm)	22,4	14,8	10,6	8,8
Comprimento (m)	0	2	4	6
Média (mm)	14	$t$ (mm)	15	

Tabela 27 – Valores do diâmetro e espessura da parede do bambu em posições diferentes ao longo do colmo utilizando expressões matemáticas do artigo de Ghavami, 2005 (Fonte: Modificado de Ghavami, 2005)

Uma vez que os elementos estruturais de bambu podem ser compostos, deve-se desenhar tais associações a fim de definir as propriedades geométricas da transversal. No dimensionamento, considerou vigas compostas por 10 e 15 bambus. Os pilares com 9 e 10 bambus. As seções transversais estão indicadas na Figura 51 a seguir. As propriedades geométricas das seções estão resumidas na Tabela 28.



Figura 51 – Seções transversais consideradas no pré-dimensionamento

(Fonte: Autor)

Seção		Área (mm <sup>2</sup> ) A	Inercia (mm <sup>4</sup> )	Módulo da seção (mm <sup>3</sup> ) S	Raio de giração (mm)
1	9 bambus	57255	5,14E+08	2,28E+06	94,7
2	10 bambus	63617	3,01E+09	8,03E+06	217,5
3	15 bambu	95426	4,51E+09	1,20E+07	217,5
	1 bambu	6362	1,47E+07	1,96E+05	48,0

Tabela 28 – Propriedade geométricas das seções transversais consideradas (Fonte: Autor)

### 3.3.4.2 Cargas Atuantes

Para o cálculo dos esforços solicitantes, defiram-se as cargas atuantes na estrutura. Foram elas as consideradas: Peso próprio da estrutura de bambu, peso próprio do telhado verde, cargas de vento e peso da caixa d'água. Considerou-se aceleração da gravidade de 10m/s<sup>2</sup>.

#### **3.3.4.2.2.1 Peso próprio estrutura de bambu.**

Para calcular o peso próprio da estrutura, segundo a Norma Colombiana, recomenda-se usar massa específica de 800 kg/m<sup>3</sup> para a *Guadua angustifolia*. Portanto o peso específico é de 8 kN/m<sup>3</sup>.

#### **3.3.4.2.2.2 Peso telhado verde**

Para telhado verde extensivo, a massa utilizada foi de 150 kg/m<sup>2</sup>. Peso específico de 1,5kN/m<sup>2</sup>.

#### **3.3.4.2.2.3 Carga de vento**

A carga de vento foi definida pela NBR 6123:1988, através da expressão da velocidade do vento característico ( $V_k$ ). A partir da velocidade, encontra-se os valores da pressão dinâmica ( $q$ ).

$$V_k = V_o S1 S2 S3$$

Na expressão acima,  $V_o$  é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. De acordo com o mapa de isoplefas da norma (Figura x), a velocidade básica  $V_o$ , para o município de Barra Longa, está entre 30 e 35 m/s. Considerou-se 35 m/s.

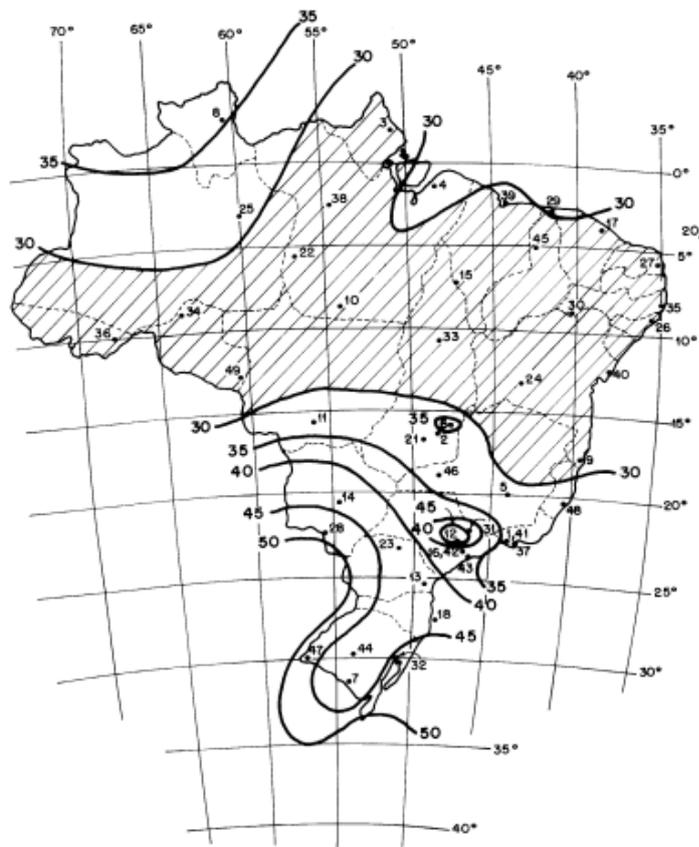


Figura 52 – Mapa de isopletas da velocidade básica  $V_0$ , em m/s.  $V_0$  é máxima velocidade média medida sobre 3 s, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano (Fonte: NBR 6123/1988)

S1 é o fator topográfico e leva em consideração as variações do relevo do terreno. Considerou-se o terreno como plano ou pouco acidentado, logo o fator, segundo a norma é igual a 1,0.

S2 é o fator que considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. Para a rugosidade do terreno, considerou-se a Categoria IV (terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada). As dimensões da edificação

indicaram a Categoria B da norma (Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m) e com altura inferior a 10 m acima do terreno. Dessa forma tem-se o valor de 0,83 para S2.

Por fim, S3 é fator estatístico. Considerou-se a edificação do Grupo 1 (edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva), portanto fator igual a 1,10.

Portanto, a velocidade do vento será:

$$V_k = 35,0 \times 1,0 \times 0,82 \times 1,1 = 31,6 \frac{m}{s}$$

E a pressão dinâmica por:

$$q = 0,613V_k^2 = 0,613 \times 31,6^2 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

A partir da pressão dinâmica é possível, segundo a norma, definir as forças sobre as faces da estrutura (paredes laterais, frontais e cobertura) a partir dos coeficientes de pressão em função da geometria da planta. Para isso, considerou-se a estrutura como retangular em planta com telhado de duas abas simétricos. A Tabela 29 da que auxiliou nesse processo está indicada a seguir.

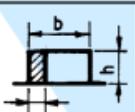
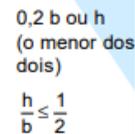
Altura relativa	Valores de $C_e$ para								$c_{pe}$ médio 
	$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
	$A_1$ e $B_1$	$A_2$ e $B_2$	C	D	A	B	$C_1$ e $D_1$	$C_2$ e $D_2$	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
 $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0

Tabela 29 – Coeficientes de pressão e forma, externos, para paredes de edificação de planta retangular (Modificado de NBR 2123:1988)

A edificação do espaço educacional possui largura ( $b$ ) de aproximadamente 15 m e comprimento ( $a$ ) de 22 m. A altura ( $h$ ) é de aproximadamente 4 m (considerando o telhado). Portanto a relação  $h/b$  é menor que  $\frac{1}{2}$  e  $a/b$  entre 1,0 e 1,5. Tem-se os coeficientes de pressão e forma para as paredes laterais e frontais, indicados na Tabela 30 a seguir. A Figura 53 ilustra a atuação da pressão na planta.

Valores de $C_e$ para								$C_{pe}$ médio
$\alpha=0^\circ$				$\alpha=90^\circ$				
A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 e D1	C2 e D2	
-0,8	-0,5	0,7	-0,4	0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9

Tabela 30 – Valores dos coeficientes de pressão e forma para as paredes frontais e laterais (Fonte: Autor)

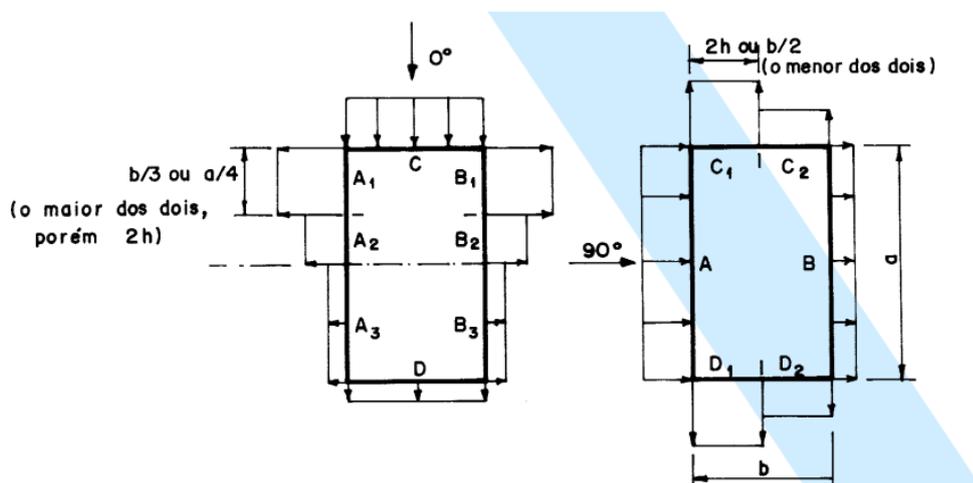


Figura 53 – Esquema da atuação dos coeficientes de pressão e forma na planta, para vento incidindo a 0 e 90 graus (Fonte: NBR 2123:1988)

Para a cobertura, segue a Figura 54. Os coeficientes de pressão e forma para a cobertura indicados na Tabela 31. Considerou-se a inclinação do telhado como  $10^\circ$ . A Figura 55 ilustra a atuação dos coeficientes na planta.

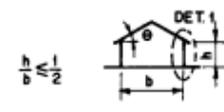
Altura relativa	$\theta$	Valores de $C_e$ para				$c_{pe}$ médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1

Figura 54 – Coeficientes de pressão e forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificação de planta retangular (Modificado de NBR 2123:1988)

$\theta$	<b>Valores de <math>C_e</math></b>				<b><math>c_{pe}</math> médio</b>			
	90°		0°					
	EF	GH	EG	FH				
<b>10°</b>	<b>-1,2</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,6</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,4</b>	-	-

Tabela 31 - Valores dos coeficientes de pressão e forma para a cobertura (Fonte: Autor)

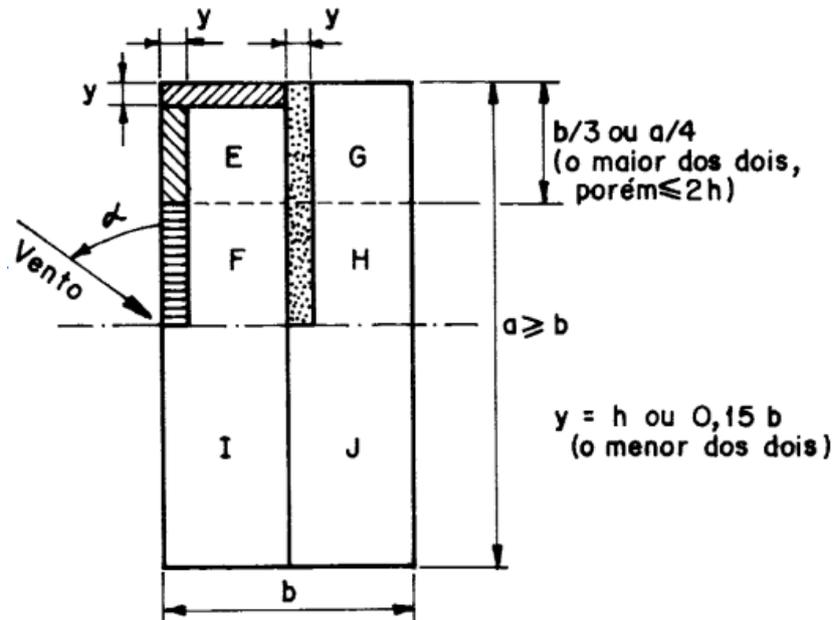


Figura 55 - Esquema da atuação dos coeficientes de pressão e forma na cobertura (Fonte: NBR 2123:1988)

Para a pressão interna, considerou-se que a estrutura é composta por todas as faces igualmente permeáveis. Portanto, os coeficientes de pressão são 0 ou -0,3 (item 6.2.5 da NBR 6123/1988). Adota-se o mais nocivo à estrutura.

Essas informações estão resumidas na Figura 56 a seguir. Para o cálculo da força sobre a estrutura, multiplicou-se o valor da pressão dinâmica ( $q$ ) pelos coeficientes de pressão e forma, encontrando valores entre  $0,24 \text{ kN/m}^2$  e  $0,72 \text{ kN/m}^2$  para sucção (negativo) e  $0,60 \text{ kN/m}^2$  posi

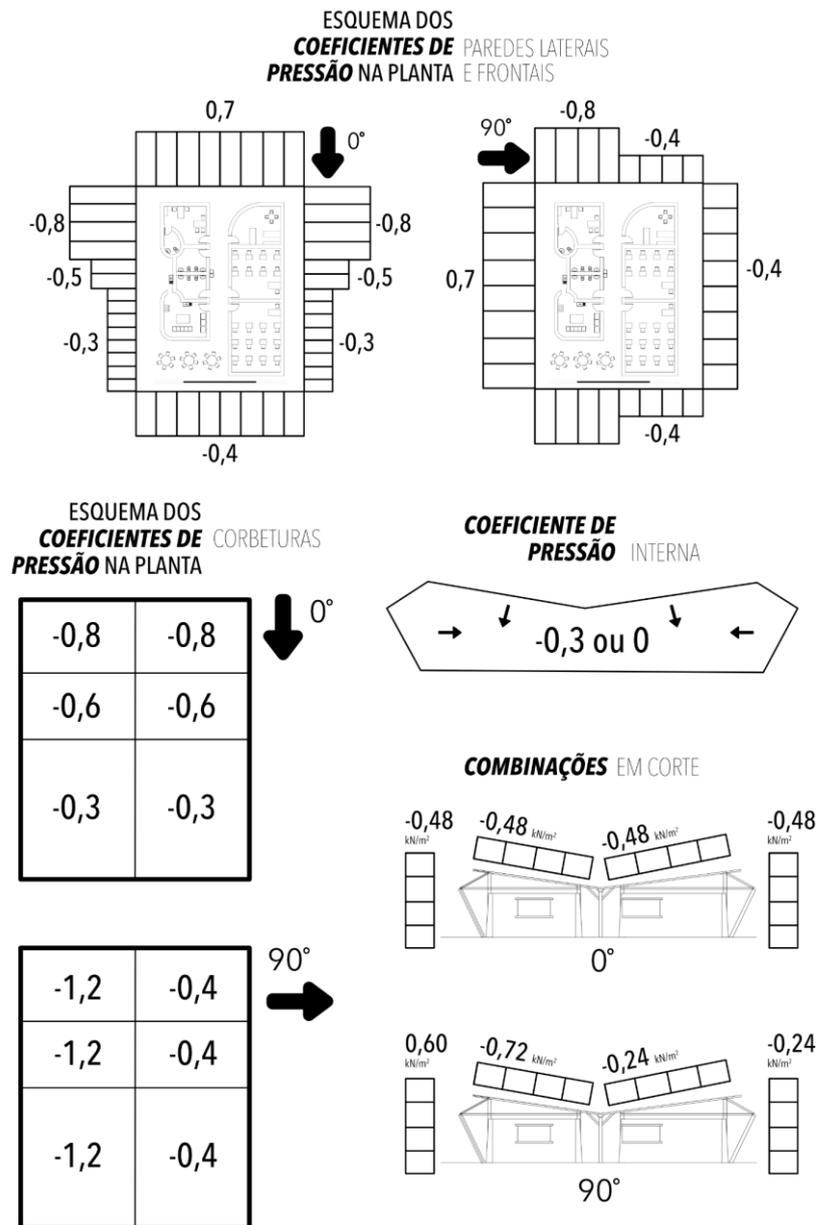


Figura 56 – Resumo da ação do vento na estrutura (Fonte: Autor)

#### 3.3.4.2.2.4 Peso caixa d'água

O peso da caixa d'água na estrutura foi calculado a partir do volume considerado para os reservatórios. Sabe-se que serão necessários 2 de 6000L cada ( $6\text{m}^3$ ). A massa específica da água é de  $1000\text{ kg/m}^3$ . Portanto, a massa total do reservatório é de  $6000\text{kg}$  e o peso, de cada reservatório, é de  $60\text{ kN}$ . Tal carga será lançada na estrutura como carga pontual no centro da viga de apoio aos reservatórios.

#### 3.3.4.2.2.5 Combinações

Para a combinação dos carregamentos, utilizou-se a norma colombiana NRS-98 item B-2.3.1, uma vez que a norma G-NRS-10 indica esse procedimento no item G-12.6.1.1. As possíveis combinações estão indicadas na Tabela 32 a seguir. Para efeitos de cálculo, as combinações usadas foram a 1, 2, 3 e 5, uma vez que não foram consideradas forças sísmicas.

<b>Combinação dos carregamentos</b>
1. D
2. D + L
3. D + W
4. D + 0,7E
5. D + L + W
6. D + L + 0.7E

D: carga permanente

L: carga de uso e ocupação

W: carga de vento

E: forças sísmicas

Tabela 32 – Combinação dos carregamentos na estrutura. Deve-se considerar a solicitação mais desfavorável. (Fonte: NRS-98)

### 3.3.4.2.3 Pórtico

Segundo a Norma Colombiana, o sistema estrutural deve estar dentro dos quatro previsto pelo documento. O sistema de pórtico é um desses quatro descritos e o escolhido para o trabalho em questão. Sistema estrutural composto por uma estrutura espacial, resistente aos momentos, essencialmente completa, sem diagonais, que resiste a todas as cargas verticais e horizontais. A partir da planta baixa da escola, foi possível definir os eixos dos pilares. A Figura 57 a seguir está indicado a locação dos pilares. Os pilares diagonais, presentes no pórtico da Figura 58, não estão nomeados na locação da Figura 57.

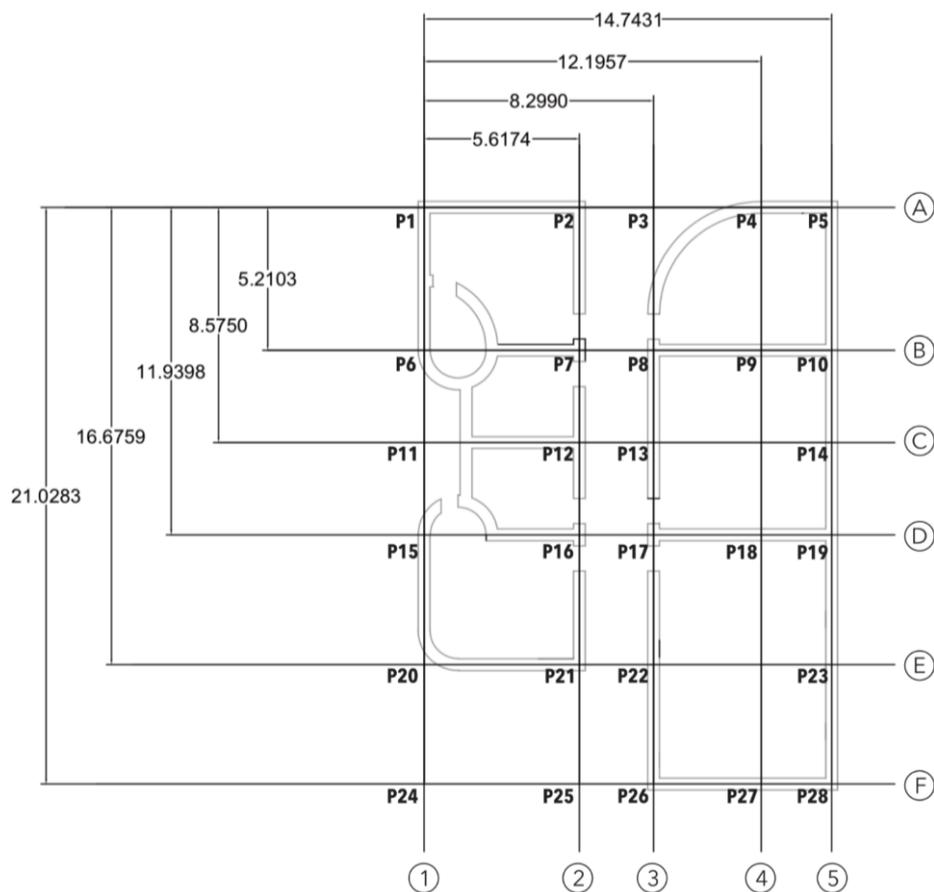


Figura 57 – Locação dos pilares verticais do espaço educacional. As distancias da figura estão em metros (Fonte: Autor)

O desenho do pórtico e os esforços solicitantes foram obtidos com auxílio do software freeware de análise estrutural, MASTAN2. Nele, lançaram-se os elementos estruturais, vigas e pilares, além de informações sobre as propriedades geométricas das seções escolhidas para o pré-dimensionamento. E mais, as propriedades mecânicas do material (bambu da espécie *Guadua angustifolia*) presentes na Norma Colombiana. O pórtico em visão 3D está indicado na Figura 58 a seguir. Nota-se também que a estrutura total é composta por duas estruturas isoladas (Figura 59).

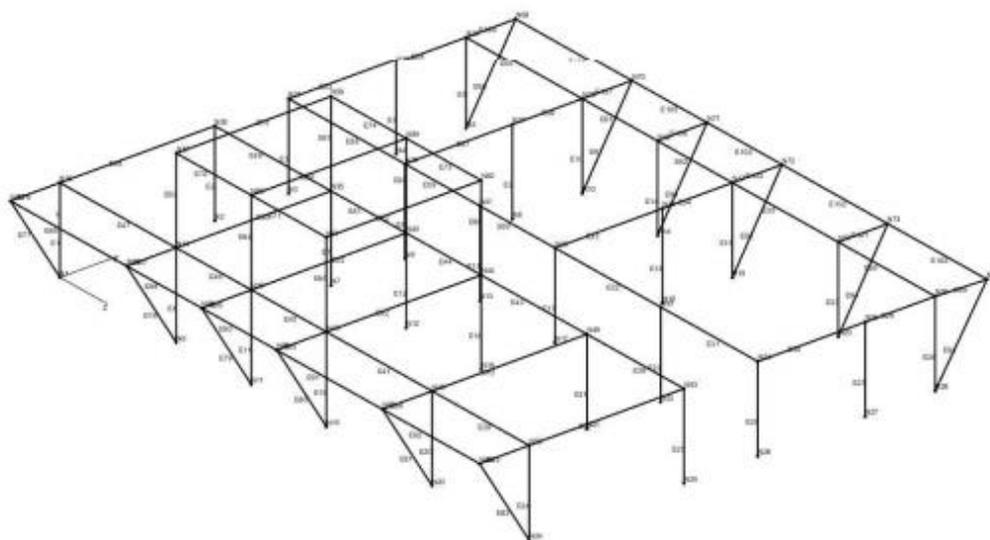


Figura 58 – Pórtico do espaço educacional em 3D (Fonte: Autor)

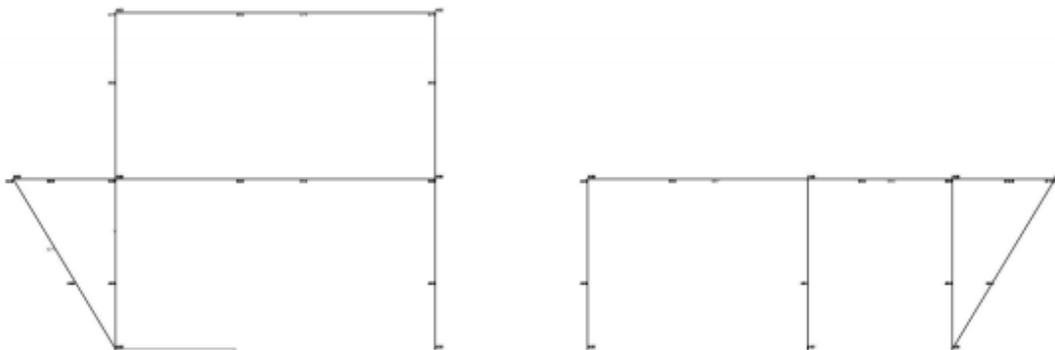


Figura 59 – Vista frontal do pórtico estrutural. Nota-se que é composta por duas estruturas isoladas. (Fonte: Autor)

#### **3.3.4.2.3.1 Lançamento dos Carregamentos**

O lançamento dos carregamentos na estrutura foi realizado em função das cargas consideradas. Para o peso próprio da estrutura de bambu, os carregamentos foram lançados automaticamente devido ao lançamento do peso específico do material no software MASTAN2. Para o peso do telhado verde, consideraram-se as áreas de influência nas vigas. A carga de vento foi distribuída nos elementos verticais externos e o peso da caixa d'água lançada como carga pontual na viga. Tais procedimentos estão descritos a seguir.

##### **3.3.4.2.3.1.1 Peso próprio da estrutura**

Sabe-se que o peso específico do bambu da espécie *Guadua angustifolia* é de 8 kN/m<sup>3</sup>. Para a análise estrutural utilizou-se o software MASTAN2. Nele é possível inserir o peso específico do material que compõe o pórtico. Dessa forma, os carregamentos referentes ao peso próprio da estrutura são lançados automaticamente.

### 3.3.4.2.3.1.2 Peso do telhado verde

Para o lançamento do peso do telhado, consideraram-se o peso real do telhado e as áreas de influência nas vigas. O peso real é dado pela multiplicação do peso específico pela área inclinada do telhado verde.

Para a distribuição nas vigas, considerou os dois pórticos que compõem a estrutura separados, cada um suportando sua respectiva aba de cobertura. Para isso, nomeou-se os lados como: Lado Molhado (Administração, Banheiros, Cozinha e Área de Serviço) e Lado Seco (Gibiteca e Salas de Aula). A divisão está indicada na Figura 60 e a Tabela 33 estão os valores das áreas.

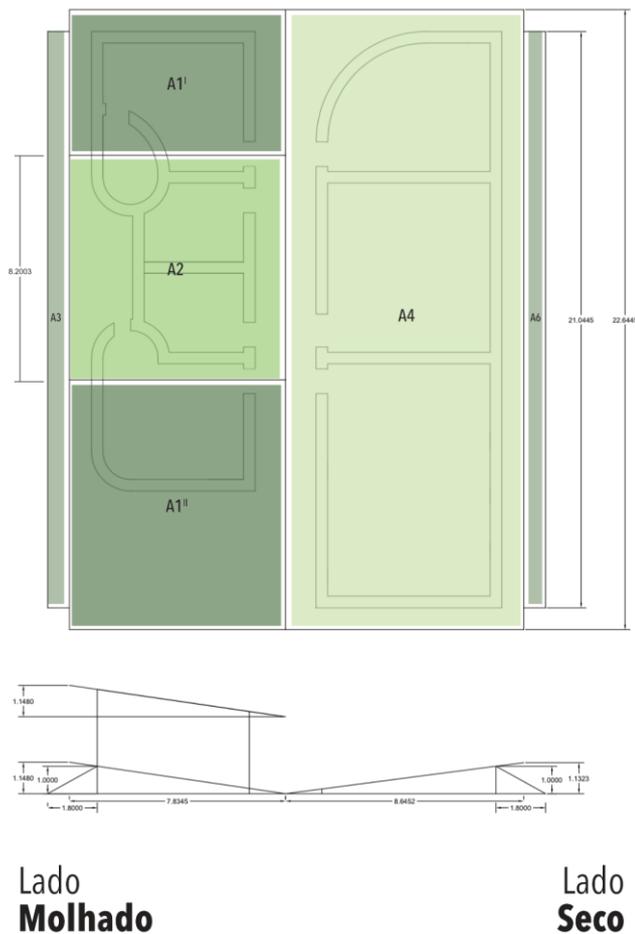


Figura 60 – Divisão das abas dos telhados. Medidas em metros (Fonte: Autor)

Descrição	Área (m <sup>2</sup> )
A1I	42,10
A1II	72,18
A2	64,89
A3	41,26
A4	197,50
A5	41,26

Tabela 33 – Valores das áreas inclinadas do telhado (Fonte: Autor)

### 3.3.4.2.3.1.2.1 Lado Molhado

O Lado molhado possui telhado verde com área total igual ao somatório de A1<sup>I</sup>, A1<sup>II</sup>, A2 e A3. A estrutura que suportará essas abas está indicada na Figura 61 a seguir. Distribuiu-se o peso das abas nas áreas projetadas da estrutura. Dessa forma, o peso do telhado estará atuando de forma análoga às lajes apoiadas em vigas.

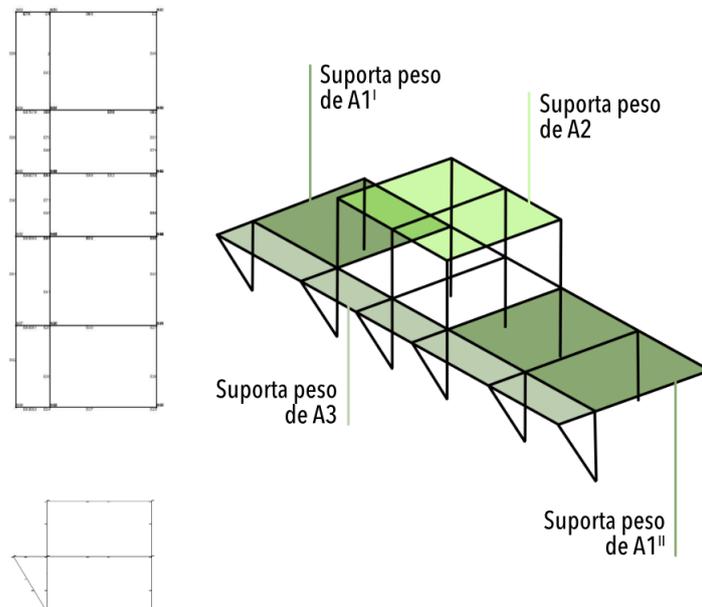


Figura 61 – Estrutura que suportará o telhado do Lado Molhado. Consideração do peso do telhado como sendo análogo à atuação das lajes nas vigas. No canto superior esquerdo está a vista aérea do pórtico. Abaixo está a vista frontal e ao lado a vista em 3D (Fonte: Autor)

Para a distribuição das cargas nas vigas, utilizou o mesmo processo de laje de vigas de concreto armado, através das áreas de influência das lajes. Segundo a NBR 6118: 2001, esse procedimento permite-se calcular as reações de apoio de lajes retangulares sob carregamento uniformemente distribuído considerando-se, para cada apoio, carga correspondente aos triângulos ou trapézios obtidos, traçando-se, a partir dos vértices, na planta da laje, retas inclinadas de:  $45^\circ$  entre apoios do mesmo tipo;  $60^\circ$  a partir do apoio engastado, se o outro for simplesmente apoiado, e  $90^\circ$  a partir do apoio vinculado (apoiado ou engastado), quando a borda vizinha for livre. A Figura 62 a seguir ilustra o procedimento. Considerou-se todos os apoios do mesmo tipo, portanto as áreas de influência são delimitadas por retas inclinadas de  $45^\circ$  a partir dos vértices.

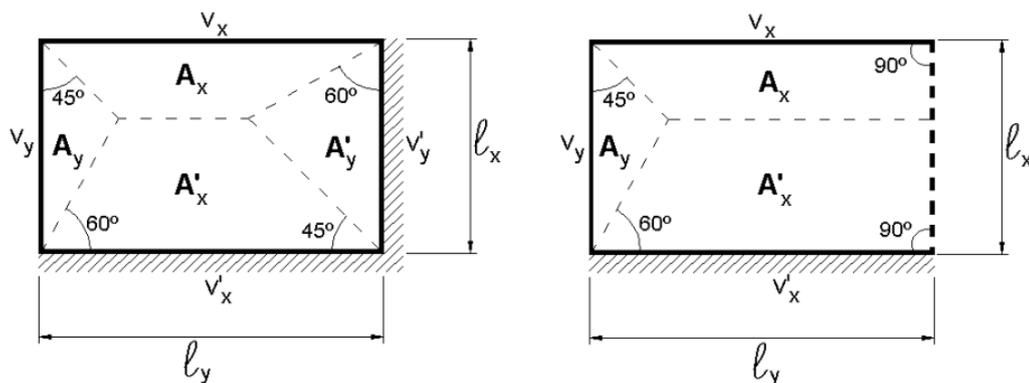


Figura 62 – Aplicação dos processos de áreas de influência. A inclinação das retas a partir dos vértices depende os tipos de apoios (Fonte: NBR 6118:2001)

A divisão das áreas de influência da estrutura do Lado Molhado está indicada na Figura x a seguir. Feito isso, distribuiu-se o peso inclinado do telhado na área projetada (delimitada pelas vigas externas da estrutura do Lado Molhado), como indica a Figura 64. A partir das áreas de influência, definiram-se as cargas do telhado em cada viga. Em função do comprimento das vigas, pode-se definir a carga uniforme linear sobre os elementos. Tais procedimentos estão resumidos na Tabela 34 a seguir.

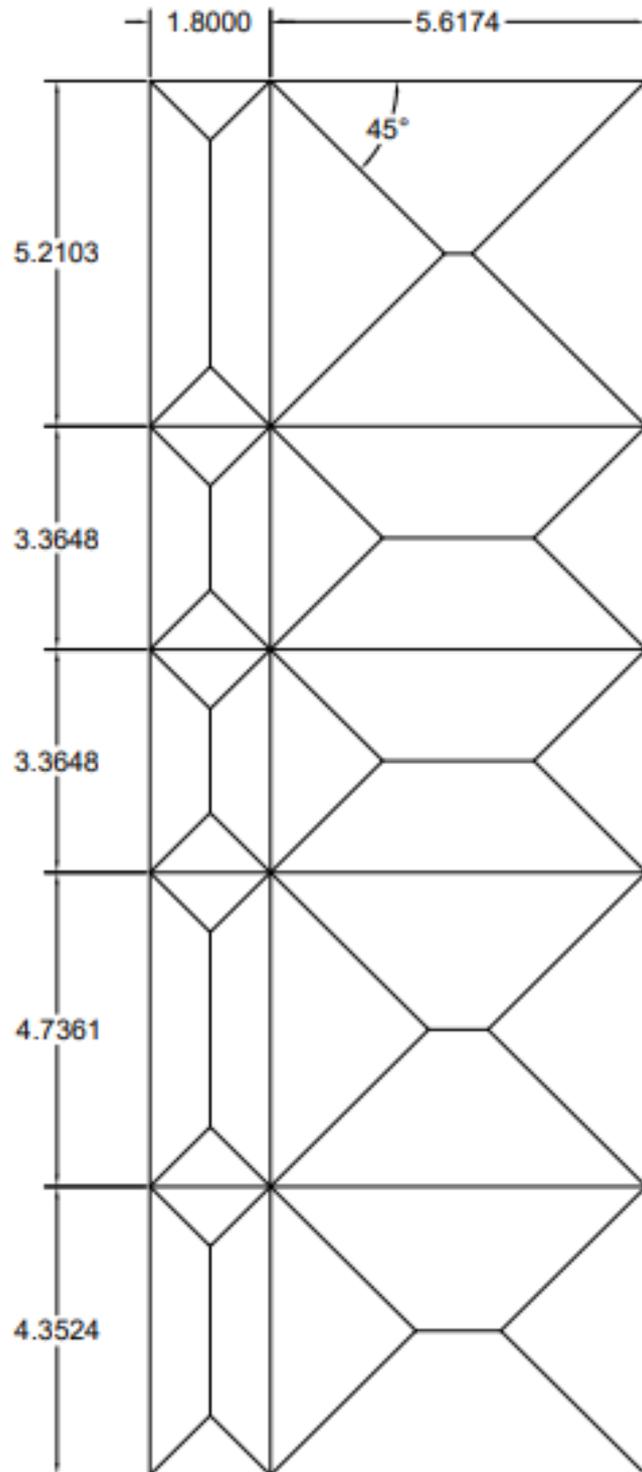


Figura 63 – Limite das áreas de influência para a estrutura do Lado Molhado (Fonte: Autor)

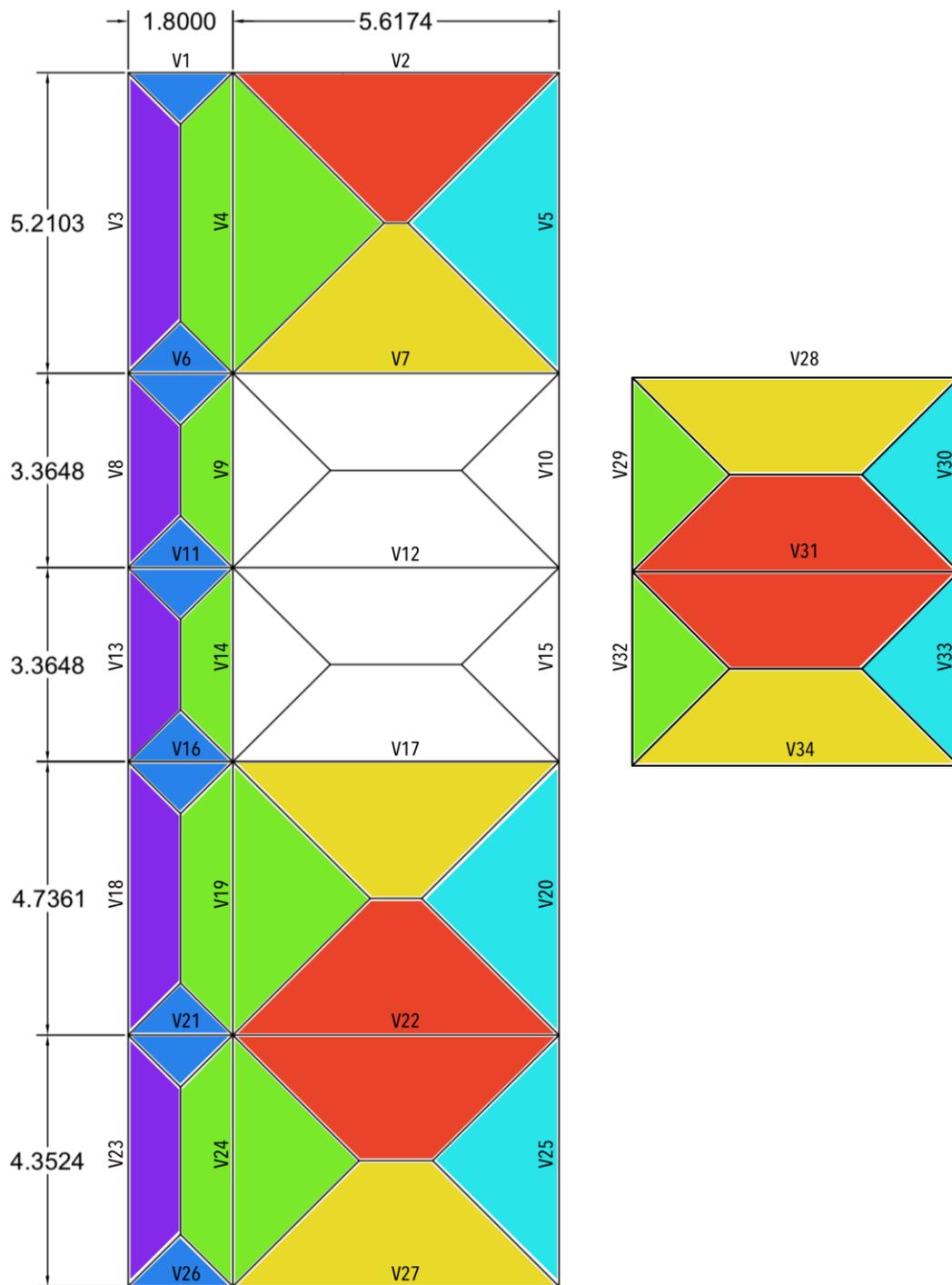


Figura 64 – Áreas de influência para cada viga. À esquerda, as vigas recebem os telhados mais baixos (A1<sup>lell</sup> e A3) e à direita, o detalhe das vigas que suportam o telhado mais alto (A2) (Fonte: Autor)

Área inclinada cobertura Lado Molhado (m <sup>2</sup> )		Área projetada (delimitada pelas vigas externas da estrutura do Lado Molhado (m <sup>2</sup> ))	Peso específico telhado verde (kN/m <sup>2</sup> )
A1I	42,10	<b>155,97</b>	1,5
A1II	72,18		Peso telhado (kN)
A2	64,89		330,7
A3	41,26		Peso distribuído na área projetada (kN/m <sup>2</sup> )
Total	<b>220,44</b>		<b>2,12</b>
Viga	comprimento (m)	Área de influência (m <sup>2</sup> )	Carga uniforme na viga (kN/m)
V1	1,80	0,81	<b>0,95</b>
V2	5,62	7,85	<b>2,96</b>
V3	5,21	3,88	<b>1,58</b>
V4	5,21	10,67	<b>4,34</b>
V5	5,21	6,79	<b>2,76</b>
V6	1,80	1,62	<b>1,91</b>
V7	5,62	7,85	<b>2,96</b>
V8	3,36	2,23	<b>1,41</b>
V9	3,36	2,23	<b>1,41</b>
V11	1,80	1,62	<b>1,91</b>
V13	3,36	2,23	<b>1,41</b>
V14	3,36	2,23	<b>1,41</b>
V16	1,80	1,62	<b>1,91</b>
V17	5,62	7,69	<b>2,90</b>
V18	4,74	3,45	<b>1,54</b>
V19	4,74	9,06	<b>4,05</b>
V20	4,74	5,61	<b>2,51</b>
V21	1,80	1,62	<b>1,91</b>
V22	5,62	15,18	<b>5,73</b>
V23	4,35	3,11	<b>1,52</b>
V24	4,35	7,84	<b>3,82</b>
V25	4,35	4,74	<b>2,31</b>
V26	1,80	0,81	<b>0,95</b>
V27	5,62	7,49	<b>2,83</b>
V28	5,62	6,62	<b>2,50</b>
V29	3,36	2,83	<b>1,79</b>
V30	3,36	2,83	<b>1,79</b>
V31	5,62	13,24	<b>4,99</b>
V32	3,36	2,83	<b>1,79</b>
V33	3,36	2,83	<b>1,79</b>
V34	5,62	6,62	<b>2,50</b>

Tabela 34 – Carregamento por viga do Lado Molhado (Fonte: Autor)

### 3.3.4.2.3.1.2.2 Lado Seco

Para o lado Seco, realizam-se mesmo os procedimentos:

1. Definição da estrutura que suportará a cobertura (Figura 65);

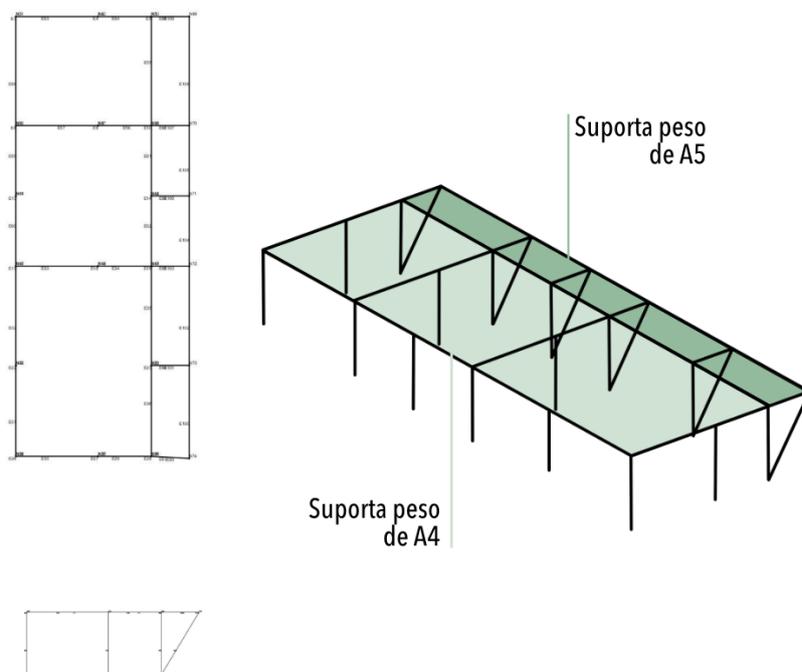


Figura 65 - Estrutura que suportará o telhado do Lado Seco. Consideração do peso do telhado como sendo análogo à atuação das lajes nas vigas. No canto superior esquerdo está a vista aérea do pórtico. Abaixo está a vista frontal e ao lado a vista em 3D (Fonte: Autor)

2. Áreas de influência nas vigas (Figura 66 e Figura 67);

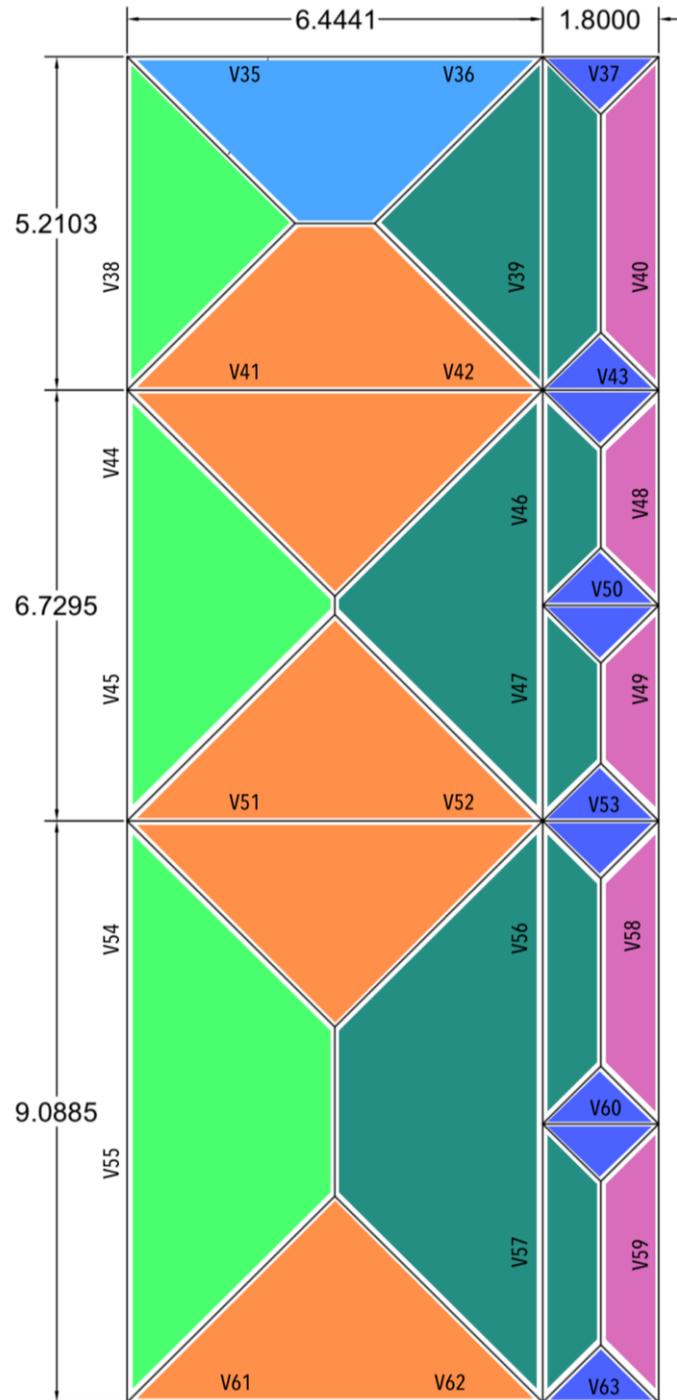


Figura 67 - Áreas de influência para cada viga (Fonte: Autor)

### 3. Cálculo das cargas (Tabela 35).

Área inclinada cobertura Lado Molhado (m <sup>2</sup> )		Área projetada (delimitada pelas vigas externas da estrutura do Lado Seco (m <sup>2</sup> ))	Peso específico telhado verde (kN/m <sup>2</sup> )	
A4	197,50	<b>173,36</b>	1,5	
			Peso telhado (kN)	
			358,1	
			Peso distribuído na área projetada (kN/m <sup>2</sup> )	
Total	<b>238,76</b>		<b>2,07</b>	
Viga	comprimento (m)	Área de influência (m <sup>2</sup> )	Carga uniforme na viga (kN/m)	
V35 e V36	6,44	10,00	<b>3,21</b>	
V37	1,80	0,81	<b>0,95</b>	
V38	5,21	6,79	<b>2,69</b>	
V39	5,21	10,67	<b>4,23</b>	
V40	5,21	3,88	<b>1,54</b>	
V41 e V42	6,44	20,38	<b>6,54</b>	
V43	1,80	1,62	<b>1,91</b>	
V44 e V45	6,73	11,30	<b>3,47</b>	
V46 e V47	6,73	15,74	<b>4,83</b>	
V48	3,36	2,22	<b>1,36</b>	
V49	3,36	2,22	<b>1,36</b>	
V50	1,80	1,62	<b>1,91</b>	
V51 e 52	6,44	20,76	<b>6,66</b>	
V53	1,80	1,62	<b>1,91</b>	
V54 e V55	9,09	18,90	<b>4,30</b>	
V56 e V57	9,09	26,27	<b>5,97</b>	
V58	4,74	3,45	<b>1,50</b>	
V59	4,35	3,11	<b>1,48</b>	
V60	1,80	1,62	<b>1,91</b>	
V61 e V62	6,44	10,38	<b>3,33</b>	
V63	1,80	0,81	<b>0,95</b>	

Tabela 35 – Carregamento por viga do Lado Seco (Fonte:Autor)

### 3.3.4.2.3.1.3 Carga de Vento

Para a combinação de carregamentos mais nocivo a estrutura, considerou os seguintes valores de carga de vento, calculados na seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e resumidos na Figura 56: 0,60 kN/m<sup>2</sup>, nas paredes de barlavento (superfície que receber diretamente o vento), e 0,48 kN/m<sup>2</sup> de sucção na parede de sotavento (superfície oposta à superfície do qual sopra o vento). A definição de quais paredes são de barlavento ou sotavento foi baseada no mapa eólico de Minas Gerais (na seção 3.3.1.1 foi visto que os ventos na região são predominantemente para o Nordeste). A ação do vento na cobertura não foi considerada pois ameniza as cargas de peso próprio da estrutura e telhado.

Para as áreas das paredes externas com ação do vento, considerou-se a existência de paredes ao longo de toda o comprimento e largura da planta, e altura de 3 metros. Dessa forma, foi possível definir a forças totais nas fachadas e dividi-las entre os pórticos. De acordo com o pórtico apresentado em 0, a estrutura possui 6 pórticos ao longo do maior comprimento e 4 ao longo do menor (não foram considerados os elementos inclinados para carga de vento). A Figura 68 ilustra o proposto.

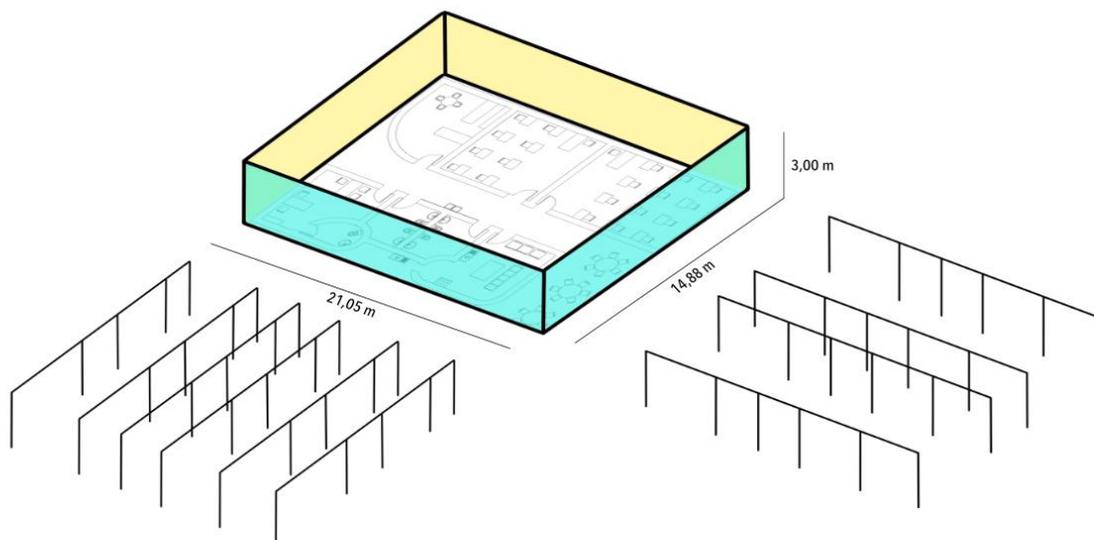


Figura 68 – Indicação dos pórticos 2D no comprimento (6 pórticos) e largura (4 pórticos) da planta. Considerou-se a existência de paredes em todo o perímetro da edificação. (Fonte: Autor)

Para dividir as forças totais das fachadas na estrutura, distribuiu-se as cargas igualmente entre os pórticos ao longo do comprimento e largura (considerou-se a mesma rigidez entre os pórticos). A Tabela 36 a seguir resume as cargas que serão aplicadas nos pilares externos.

Paredes externas	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de vento (kN/m <sup>2</sup> )	Força total na parede (kN)	n° de pórticos no comprimento	Carga no pilar	
					Pontual (kN)	Distribuída (kN/m)
Barlavento	63,15	0,60	37,89	6	<b>6,32</b>	<b>2,11</b>
	43,98		26,39	4	<b>6,60</b>	<b>2,20</b>
Sotavento	63,15	-0,48	-30,31	6	<b>-5,05</b>	<b>-1,68</b>
	43,98		-21,11	4	<b>-5,28</b>	<b>-1,76</b>

Obs: Os valores negativos referem-se à sucção

Tabela 36 – Cargas de vento na estrutura (Fonte: Autor)

#### **3.3.4.2.3.1.4 Peso caixa d'água**

O peso dos reservatórios de água será lançado na estrutura como carga pontual. Na seção 3.3.4.2.3.1.2.1 tem-se que o peso é de 60kN. Tal carga será aplicada no ponto médio da viga V12. A localização da viga está indicada na Figura 64.

#### **3.3.4.2.4 Análise estrutural e dimensionamento**

Após o desenho do pórtico, a definição do material e das seções transversais dos elementos, e o lançamento dos carregamentos com auxílio software MASTAN2, fez-se a análise estrutural. Para isso, considerou todos os pilares engastados em suas fundações e todos os nós como rígidos. Os diagramas extraídos do software foram resultados de análise de primeira ordem. A análise e dimensionamento foram realizados para os esforços máximos. No entanto, para solicitações menores, é possível reduzir o número de bambus na seção transversais, questões essas que não foram definidas.

##### **3.3.4.2.4.1 Flexão simples**

Para a flexão simples, a maior solicitação foi momento fletor (M) de -72 kN.m. De acordo com a Norma Colombiana G-NRS-10, no item G.12.8.10.8, o esforço atuante na estrutura ( $f_b$ ) deve ser menor que o esforço admissível modificado ( $F_b'$ ). Na expressão a seguir a letra S indica o módulo da seção, em mm<sup>3</sup>. A Figura 81 indica o diagrama de momento fletor da viga mais solicitada.

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F_b'$$

O valor da tensão admissível modificada é dado pelo produto entre a tensão admissível e os coeficientes de modificação. A Tabela 37 a seguir indica a verificação da viga para seção composta por 15 bambus.

Fb (MPa)	15
CD	0,9
Cm	1
Ct	0,6
CL	0,98
Cc	1
<b>Fb' (MPa)</b>	<b>7,94</b>
M (N.mm)	72000000
S (mm <sup>3</sup> )	12000000
<b>fb</b>	<b>6,00</b>
Verificação	OK!

Tabela 37 – Verificação da flexão simples na viga com maior solicitação com seção transversal de 15 bambus (Fonte: Autor)

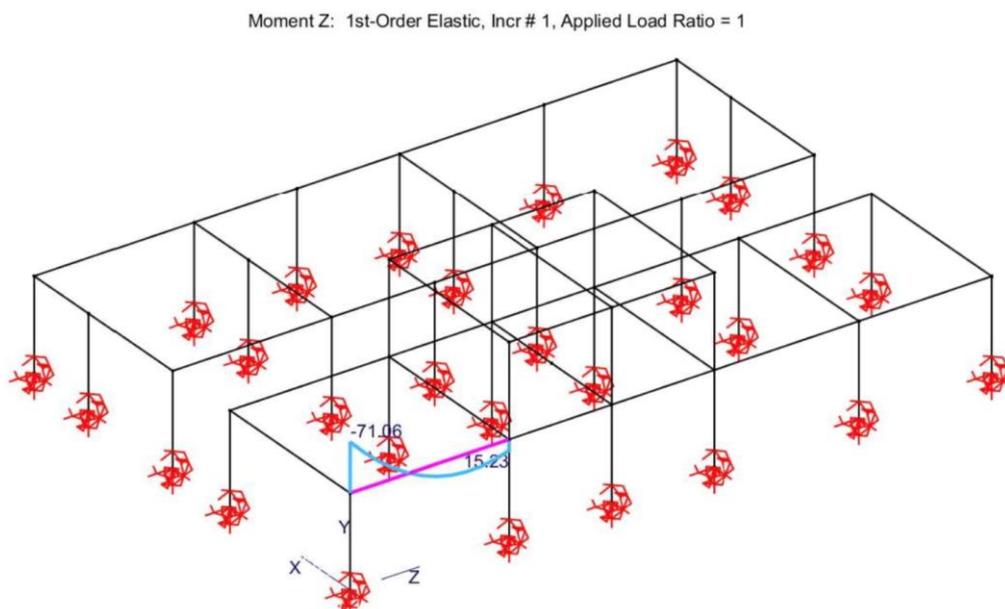


Figura 69 – Pórtico estrutural e diagrama de momento fletor na viga mais solicitada, extraído do software MASTAN 2 (Fonte: Autor)

### 3.3.4.2.4.2 Cortante

A análise do cortante (V) seguiu o mesmo procedimento. O maior valor para essa solicitação foi de 54 kN (Figura x). A verificação, segundo a Norma Colombiana é descrita no item G.12.8.11.2, e segue a expressão a seguir, onde  $f_v$  é o esforço atuante e  $F_v'$  esforço admissível modificado. Na Tabela 38 a seguir está a verificação da viga para seção composta por 15 bambus, e a Figura 70 indica o diagrama da viga mais solicitada.

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left( \frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F_v'$$

Tabela 38 - Verificação do esforço cortante na viga com maior solicitação com seção transversal de 15 bambus (Fonte: Autor)

Fv (MPa)	1,2
CD	0,90
Cm	1,00
Ct	0,65
CL	0,98
Cc	1,00
<b>Fv' (MPa)</b>	<b>0,69</b>
V (N)	54000
A (mm <sup>2</sup> )	95426
De (mm)	150
t (mm)	15
<b>fv (Mpa)</b>	<b>1,21</b>
Verificação	Não OK

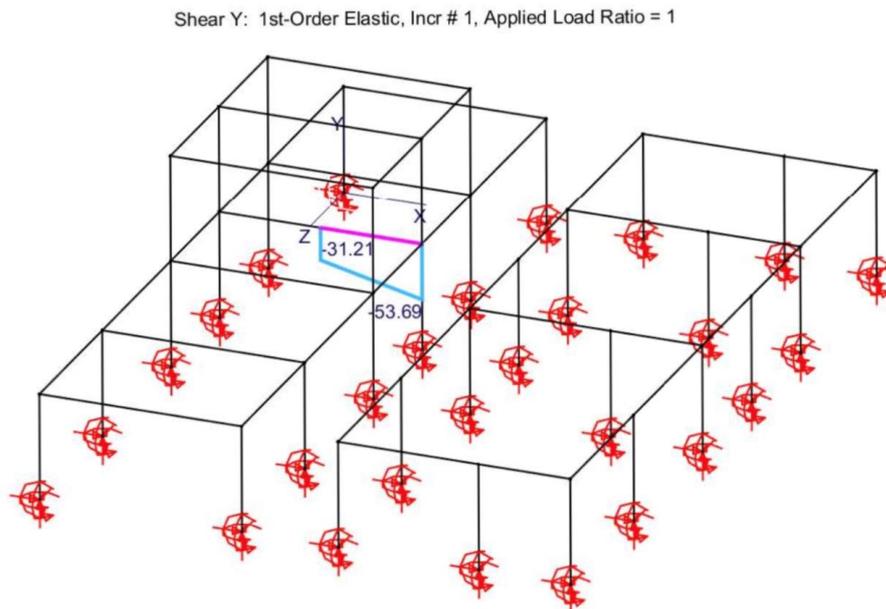


Figura 70 - Pórtico estrutural e diagrama de esforço cortante na viga mais solicitada, extraído do software MASTAN 2 (Fonte: Autor)

Nesse caso, nota-se que a verificação não foi feita. Uma alternativa seria uma seção transversal com mais bambus. No entanto, as seções pré-definidas já são bastante robustas e o aumento poderia ser um problema. Uma das alternativas é a injeção de concreto nos pontos onde o cortante não é resistido pelo bambu isolado. Além disso, o rearranjo estrutural e a definição dos nós em relação às suas liberdades, podem colaborar na redução dos esforços.

### 3.3.4.2.4.3 Flexo-compressão

Para os pilares, a Norma Colombiana verifica, aos elementos submetidos às forças axiais, a esbeltez do elemento. Para isso, deve-se verificar em qual intervalo a relação entre o comprimento efetivo da coluna ( $l_e$ ) e o raio de giração da seção transversal ( $r$ ), simbolizada por  $\lambda$ . Os pilares da escola são classificados como Intermediárias. A Tabela 39 resume o processo.

Tabela 39 – Caracterização das colunas da estrutura segundo a Norma Colombiana (Fonte: Autor)

$l_e$ (mm)	3000
$r$ (mm)	94
$\lambda$	32
Coluna	Intermediária

Para tais colunas, a verificação da tensão axial no elemento é feita através da expressão, presente no item G.12.9.2.7.2 da Norma Colombiana:

$$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_K}\right]^3\right)} \leq F'_c$$

Na fórmula,  $f_c$  é a tensão atuante,  $N$  é a força axial no elemento,  $A_n$  é a área da seção transversal,  $F'_c$  é a tensão admissível modificada e  $C_K$  a esbeltez limite entre colunas Intermediárias e Longas. A coluna com maior solicitação está submetida à 174 kN. A Tabela 40 a seguir indica a verificação da coluna para seção composta por 9 bambus, e a Figura 71 indica o diagrama de força axial do pilar mais solicitado.

Tabela 40 - Verificação da tensão axial de compressão na coluna com maior solicitação. Seção transversal de 9 bambus (Fonte: Autor)

Fc (MPa)	14,0
CD	0,90
Cm	1,00
Ct	0,65
CL	1,00
Cc	1,00
<b>Fc' (Mpa)</b>	<b>8,19</b>
N (N)	174000
An (mm <sup>2</sup> )	57255
$\lambda$	32
CK	78
<b>fv</b>	<b>3,13</b>
Verificação	OK!

Axial Force: 1st-Order Elastic, Incr # 1, Applied Load Ratio = 1

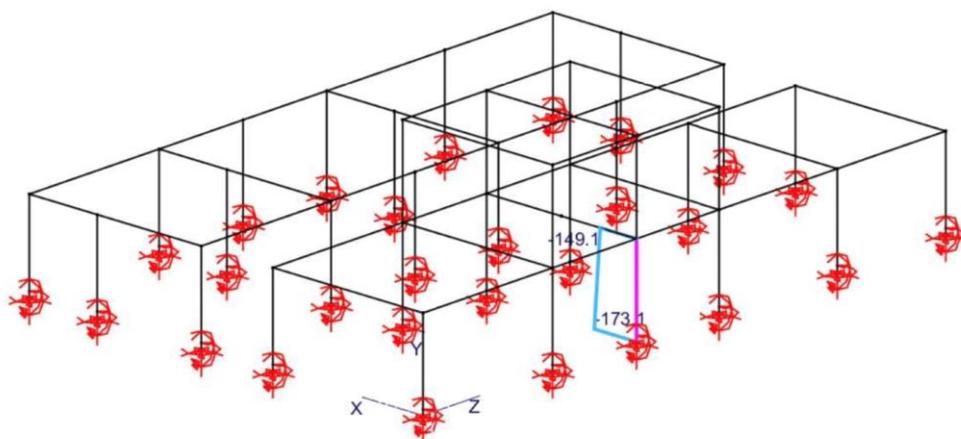


Figura 71 - Pórtico estrutural e diagrama de esforço normal na coluna mais solicitada, extraído do software MASTAN 2 (Fonte: Autor)

Além disso, é necessária a verificação da flexão e compressão atuando simultaneamente. Nos pilares, o maior momento fletor foi de 30,75 kN.m. A flexo-compressão, segundo a Norma Colombiana (item G.12.10.1), segue a expressão a seguir. Para esta análise, considerou a atuação do maior esforço normal com o maior momento fletor no mesmo pilar. No entanto, esses valores de esforços não são necessariamente do mesmo elemento.

$$\frac{f_t}{F_t} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1,0$$

Para o pilar com seção de 9 bambus, a relação foi maior que 1. Portanto, para esses casos, os pilares foram substituídos por seção com 10 bambus. A Tabela 41 a seguir esclarece essa verificação, e a Figura 72 indica o diagrama do momento fletor do pilar mais solicitado.

Tabela 41 - Verificação da flexo-compressão na coluna, considerando que o maior esforço normal e maior momento fletor atuam no mesmo elemento. Seção transversal de 10 bambus (Fonte: Autor)

<b>Fb (MPa)</b>	<b>15</b>
CD	0,9
Cm	1
Ct	0,6
CL	1
Cc	1
<b>Fb' (MPa)</b>	<b>8,10</b>
M (N.mm)	3100000
S (mm <sup>3</sup> )	8030000
<b>fb</b>	<b>3,86</b>
fv	<b>3,13</b>
Fv'	<b>8,19</b>
Verificação	0,9
	OK!

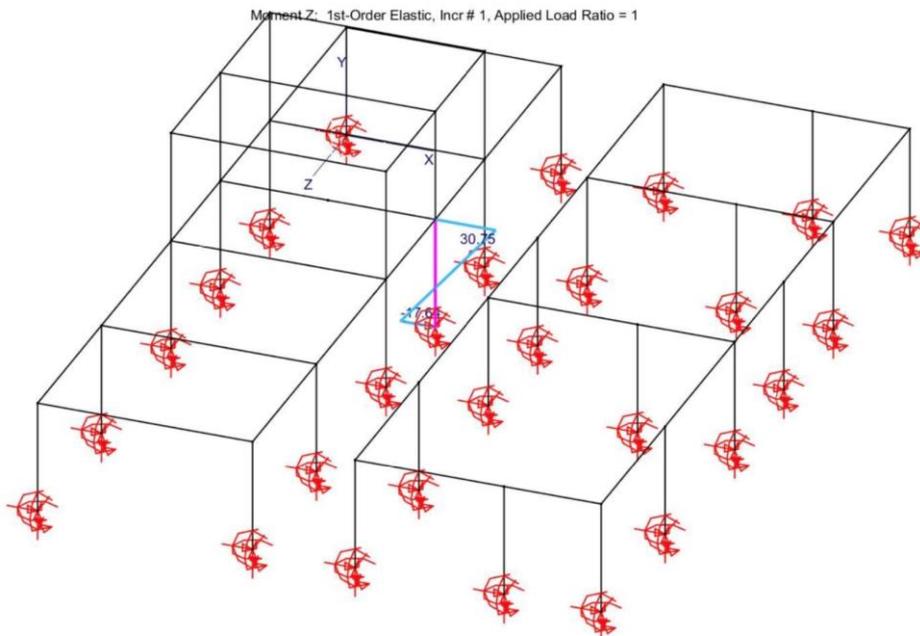


Figura 72 - Pórtico estrutural e diagrama de momento fletor na coluna mais solicitada, extraído do software MASTAN 2 (Fonte: Autor)

#### 3.3.4.2.4 Observações

Somado a isso, são necessárias outras verificações e definições. Uma delas são as deformações que ocorrem na estrutura. Ponderar se estão dentro dos limites definidos por norma, para garantir segurança e conforto aos usuários. Além disso, as ligações entre as peças da estrutura devem ser analisadas caso a caso e dimensionadas em função do tipo escolhido.

E mais, a estrutura da escola é composta por bambu e COB. No entanto, a análise estrutural foi realizada considerando os carregamentos suportados apenas pelo pórtico de bambu. Sabe-se que as paredes em COB possuem função estrutural, mas não existem normas de cálculos, e não foi possível avaliar a viabilidade do solo

local devido à pandemia e restrições ao uso do Laboratório de Solos da Escola de Minas.

Dessa forma, entende-se que as paredes de COB auxiliariam na sustentação dos carregamentos e aliviando alguns esforços nas vigas e pilares de bambu. Além disso, uma vez que as estruturas em COB não consideradas monolíticas, tal característica daria ao pórtico maior rigidez e as paredes funcionariam também como contraventamentos.

Outra questão são as fundações, que não foram dimensionadas. No entanto, sugere-se que sejam feitas em concreto armado. Tais estruturas devem estar acima do nível do terreno, respeitando as exigências dos materiais (bambu e COB) revisados na fundamentação teórica.

## 4 RESULTADOS

Diante do exposto, tem-se referências para a elaboração de um anteprojeto do espaço educacional: uma edificação em COB, método bioconstrutivo, em que a principal matéria prima é a terra. Além disso, definiu-se o pórtico composto por bambu como complemento estrutural, e realizou-se análise estrutural. A dimensão dos elementos de bambu foi feita de acordo com as maiores solicitações na estrutura.

Ainda sobre a estrutura, não foi possível realizar a análise do solo que seria utilizado para a construção do espaço devido às limitações do uso de Laboratório de Solos da Escola de Minas durante a pandemia do Coronavírus. Além disso, a estrutura de bambu foi calculada para suportar, sozinha, todos os esforços considerados. No entanto, sabe-se que o COB possui função estrutural e também seria responsável pelo suporte e transmissão de cargas. A consideração buscou favorecer a segurança e também por conta da ausência de normas técnicas sobre processos construtivos ancestrais. A análise do solo seria realizada baseando-se nos estudos da PROTERRA, indicados na fundamentação teórica.

Somado a isso, durante o planejamento do espaço, definiram-se quais as tecnologias e ecotécnicas seriam implementadas. Para isso, foi previsto o uso de telhado verde, sistema de captação de água da chuva e sistema fotovoltaico. Pensou-se também no aproveitamento de iluminação e ventilação natural a fim de reduzir o consumo energético e garantir conforto e saúde dos usuários. A definição das tecnologias, somada às questões estéticas, sociais e filosóficas, presentes no contexto da organicidade e dos princípios da bioconstrução, obtiveram resposta nos aspectos arquitetônicos e layout da escola

Definiu-se a planta do espaço educacional-cultural e realizou-se corte nas direções transversais e longitudinais, nas seções que apresentam maiores detalhes, e a vista da fachada. O layout da planta baixa está indicado na Figura 73. O posicionamento dos cortes está na Figura 74e os cortes e fachadas estão na Figura 75.

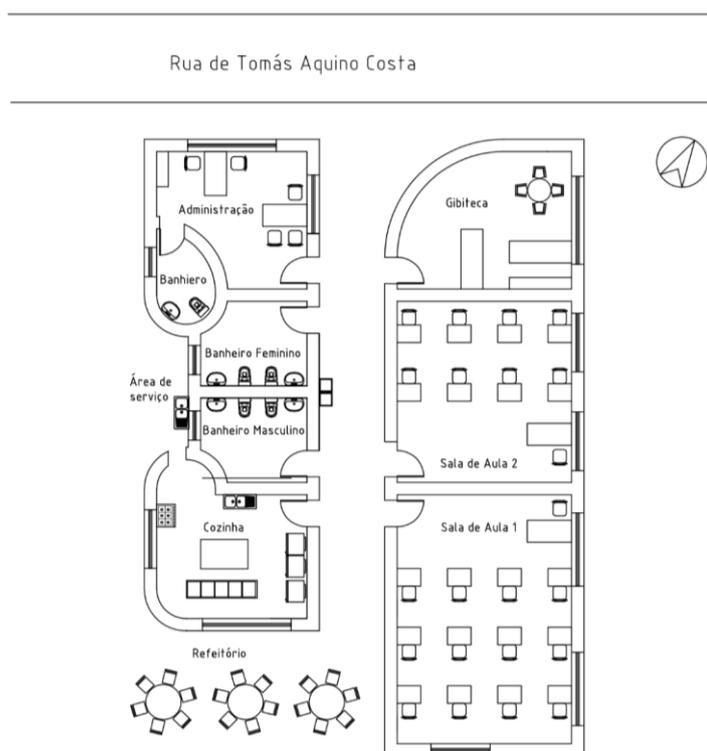


Figura 73 – Layout da planta baixa do espaço educacional-cultural  
(Fonte: Autor)

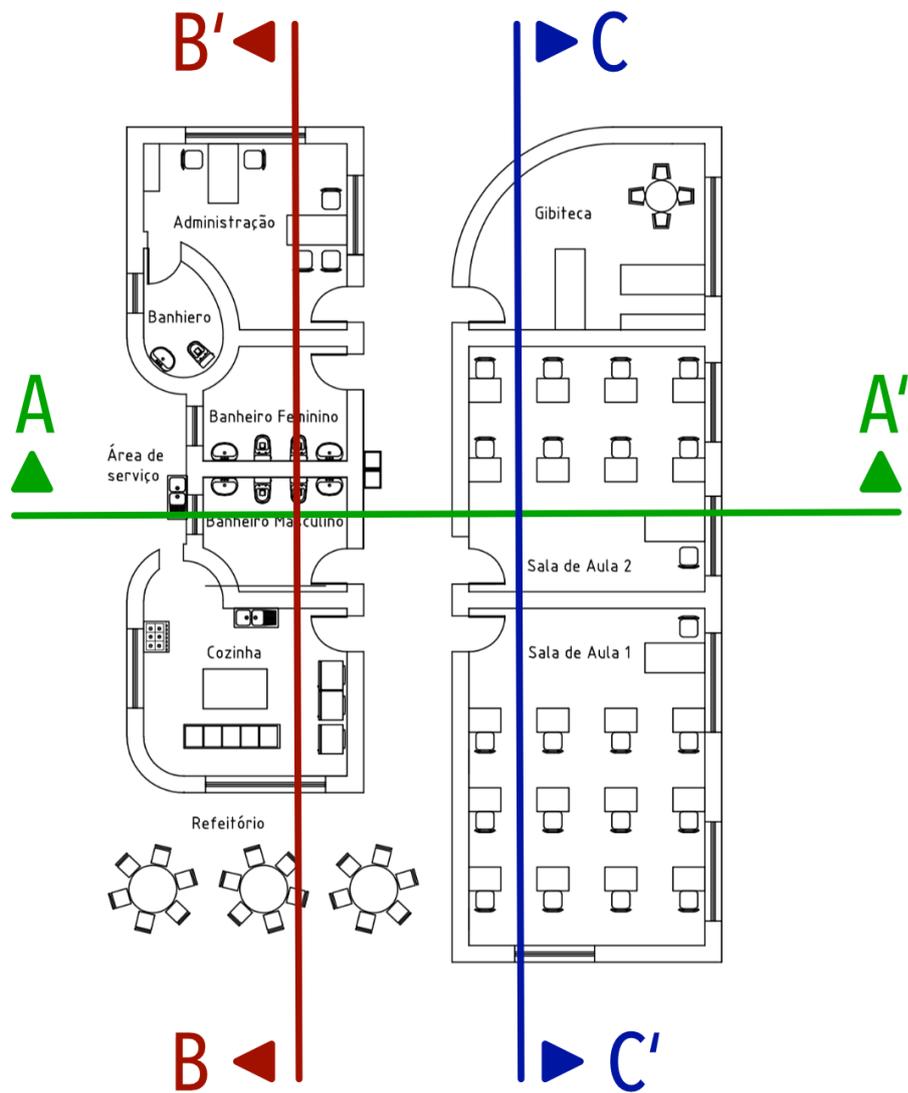
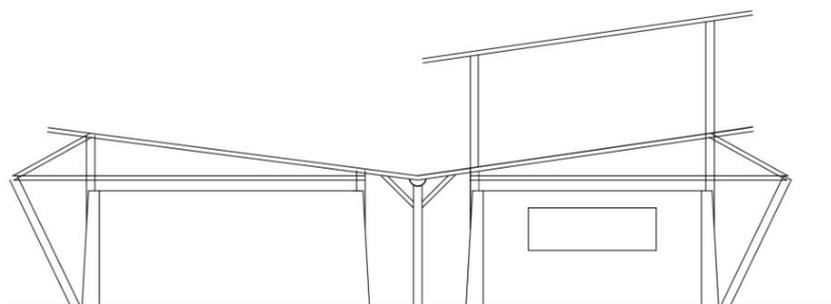
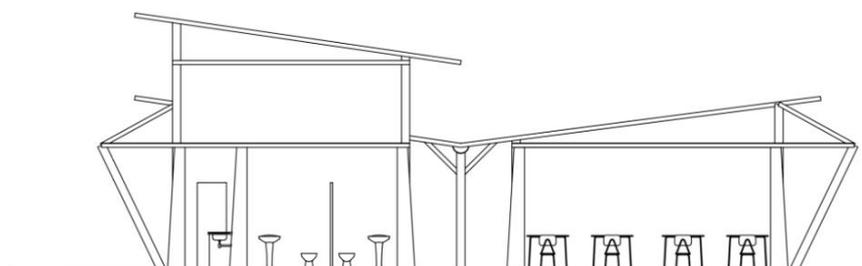


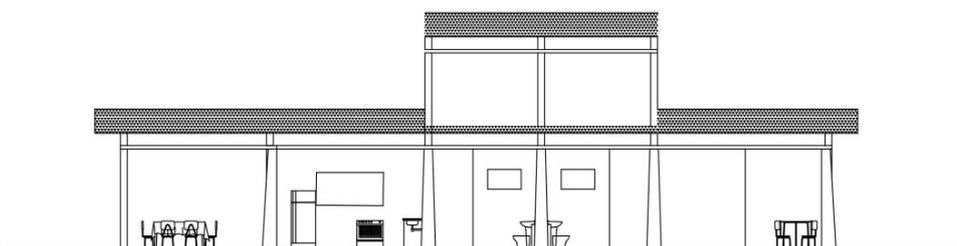
Figura 74 – Posicionamento dos corte no layout da planta baixa (Fonte: Autor)



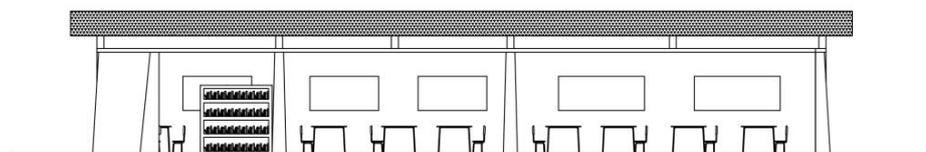
Layout Fachada



Layout Corte A-A'



Layout Corte B-B'



Layout Corte C-C'

Figura 75 – De cima para baixo, fachada e cortes, respectivamente (Fonte: Autor)

Fez também esquema do posicionamento do sistema de captação de águas pluviais. Os reservatórios foram dispostos próximos ao refeitório, facilitando o acesso favorecendo questões de Educação Ambiental. A Figura 76 indica a localização do sistema na planta. Na metodologia foi calculado o volume de reservação de quase 12000L. Portanto, os reservatórios comerciais para a instalação serão dois de 6000L, seguindo o padrão do reservatório escolhido no hidrossanitário.

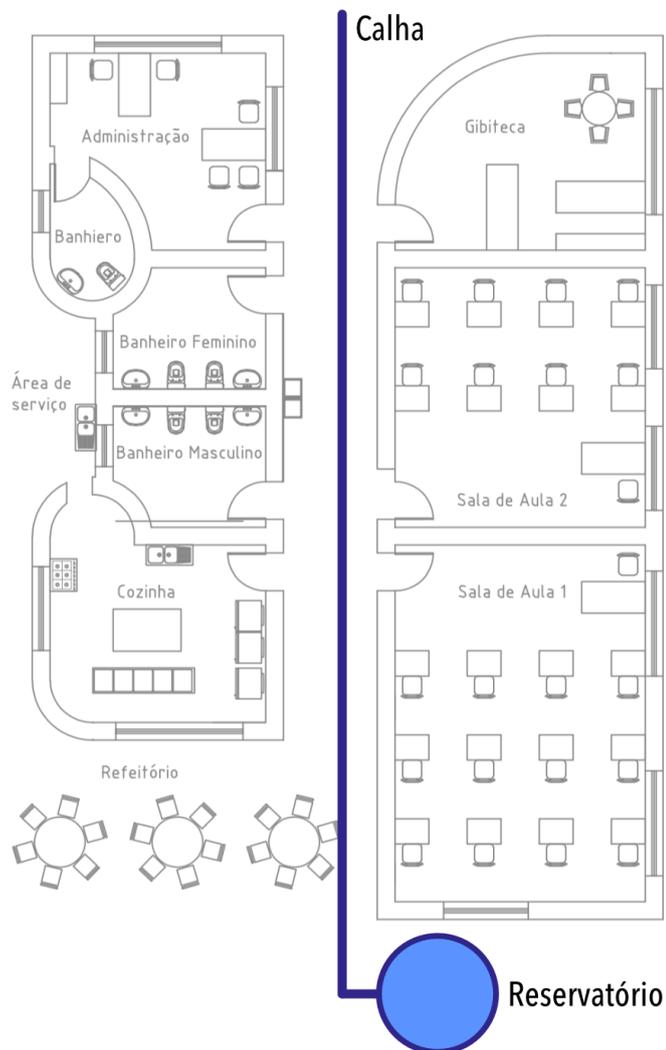


Figura 76 – Posicionamento do reservatório do sistema de captação de águas pluviais (Fonte: Autor)

Algumas questões relacionadas ao coronavírus foram consideradas durante o planejamento. Além da ventilação natural, de extrema importância na renovação do ar, o distanciamento mínimo de 1,5m entre os locais de trabalho foi respeitado, alterando a dimensão dos ambientes e também sua ocupação. E mais, a utilização de algumas ferramentas foram consideradas. Tais adaptações estão indicadas na Figura 77 a seguir.

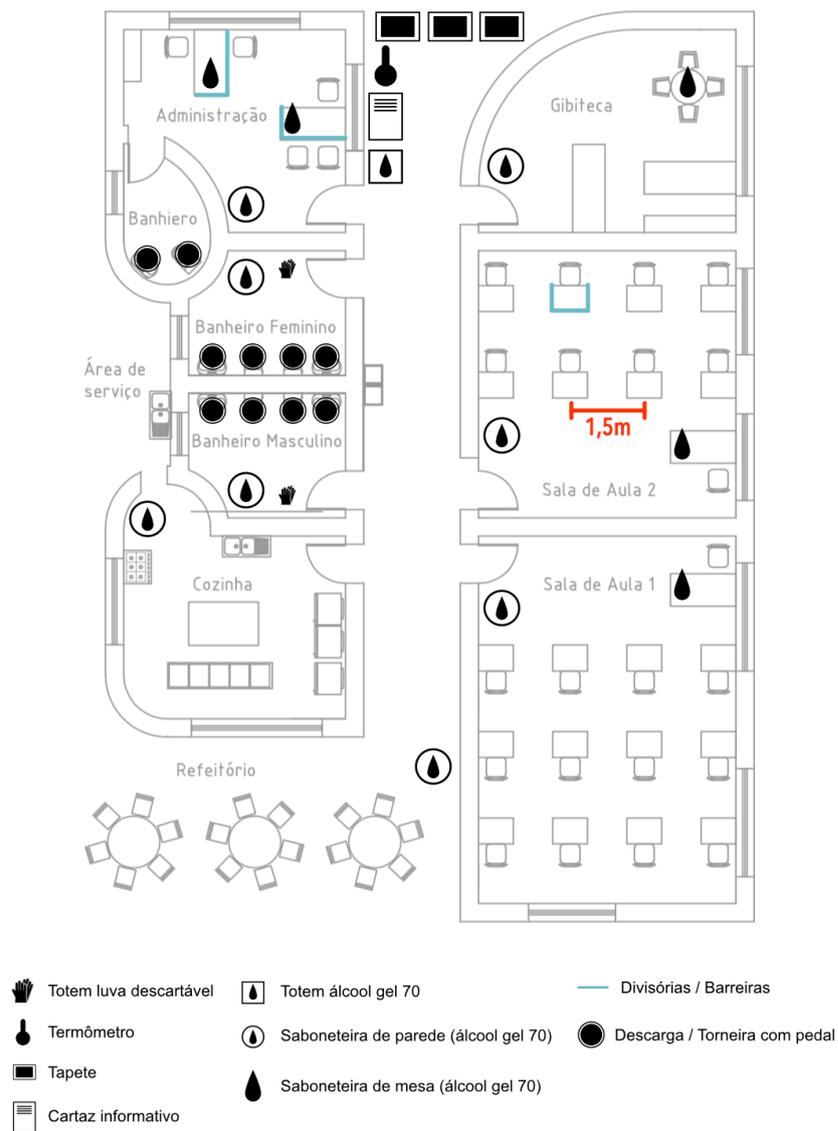


Figura 77 – Posicionamento das ferramentas utilizadas para a prevenção ao COVID-19 e pandemias (Fonte: Autor)

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foram desconsiderados quaisquer tipos de perdas na geração e transmissão de potência. Definiu-se a quantidade de placas, inclinação para melhor aproveitamento e esquemas do local de instalação. A Tabela 42 a seguir estão os dados coletados para o dimensionamento e quantidade de placas necessárias. Para o consumo estimado da escola são necessárias 34 placas.

Consumo mensal (kWh)	1029
Consumo diário (kWh)	37
Potência nominal da placa (W)	275
Índice Solarimétrico local (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	3,89
Potência de placas necessária (kW)	9,4
Latitude local	43°07'36.8"
Número de placas	34
Inclinação das placas	58°

Tabela 42 – Dados coletados para o dimensionamento, número de placas necessárias e inclinação de instalação (Fonte: Autor)

As placas serão voltadas para o norte geográfico a fim de maximizar a produção energética. A inclinação é função da latitude local. Para latitudes maiores que 40°, recomenda-se inclinações superiores em 15°, relativamente ao ângulo de latitude. Portanto, os módulos serão instalados com inclinação igual à 58°.

Uma vez que o telhado da edificação não possui inclinação e orientação adequadas para a melhor eficiência das placas, a instalação será feita fora do terreno da escola. Através de observações do entorno durante visitas ao local e Google Maps, foi possível indicar o local para a instalação do sistema, a aproximadamente 600 metros do terreno (Figura 78). E mais, uma vez que se trata de um espaço educacional, é importante o acesso dos alunos à estação fotovoltaica para efeitos de Educação Ambiental. Portanto, na Figura 78, está indicado também a trilha (já existente) de acesso.



Figura 78 – Local de instalação do sistema fotovoltaico. A linha em vermelho indica a trilha de acesso (Fonte: Modificado do Google Maps)

Outro detalhe importante do sistema fotovoltaico é o inversor, responsável pela conversão da Corrente Contínua em Corrente Alternada. Para um sistema com 34 placas de 275 W, a geração será de 9,35 kWp. Portanto, o sistema exige inversor com potência nominal superior ao valor de geração. O local de instalação do equipamento na escola busca favorecer questões de Educação Ambiental, pois deve ser feita em local visível e de fácil acesso. Dessa forma, os usuários da edificação podem visualizar a geração em tempo real. O local sugerido de instalação está indicado na Figura 79 abaixo.

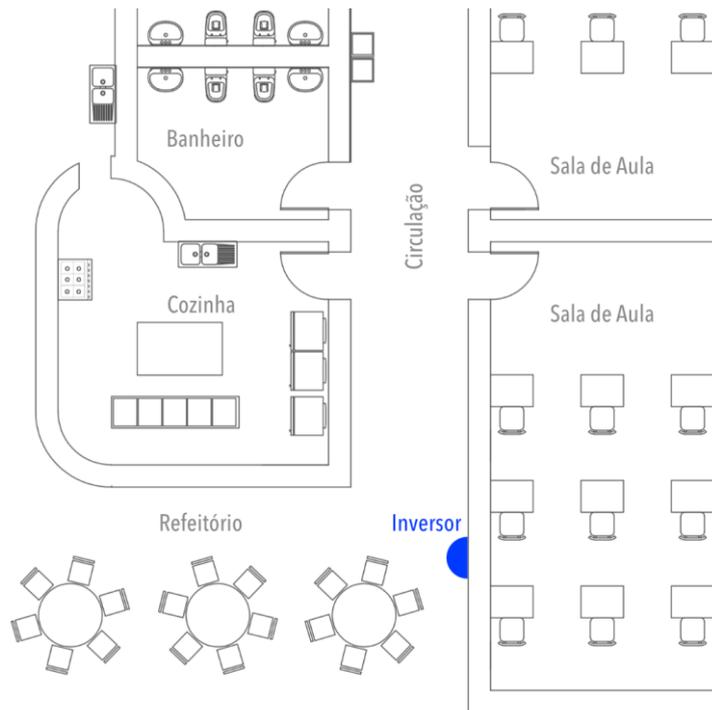


Figura 79 – Posição de instalação do Inversor (Fonte: Autor)

Somado a isso, foi previsto o consumo de energia para possíveis adaptações no uso do espaço, as quais são: instalação de chuveiros elétricos e instalação de computadores (salas de aulas utilizadas como laboratório de informática, por exemplo). Para isso, considerou a instalação de 2 chuveiros e de 8 computadores. Dessa forma, definiu-se a quantidade necessária de módulos fotovoltaicos para suprir a demandas desses novos aparelhos. Seguiu a mesma metodologia indicada anteriormente e os valores de consumo e dimensionamento do sistema estão indicados na Tabela 43 a seguir.

Equipamento	Potência aproximada (W)	Quantidade	Tempo de uso diário (h)	Consumo (kWh/mês)
Computador	150	8	2	67,2
Chuveiro	5500	2	1	308
<b>Total</b>				<b>375,2</b>
Consumo diário				13,4
Potência nominal da placa (W)				275
Índice Solarimétrico local (kWh/m <sup>2</sup> .dia)				3,89
Potência de placas necessária (kW)				3,4
Latitude local				43°07'36.8"
Número de placas				13
Inclinação das placas				58°

Tabela 43 – Resumo do dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário para atender uso de chuveiros e laboratório de informática (Fonte: Autor)

A Figura 81 a seguir ilustra a fachada da escola e a Figura 80 uma vista em perspectiva.

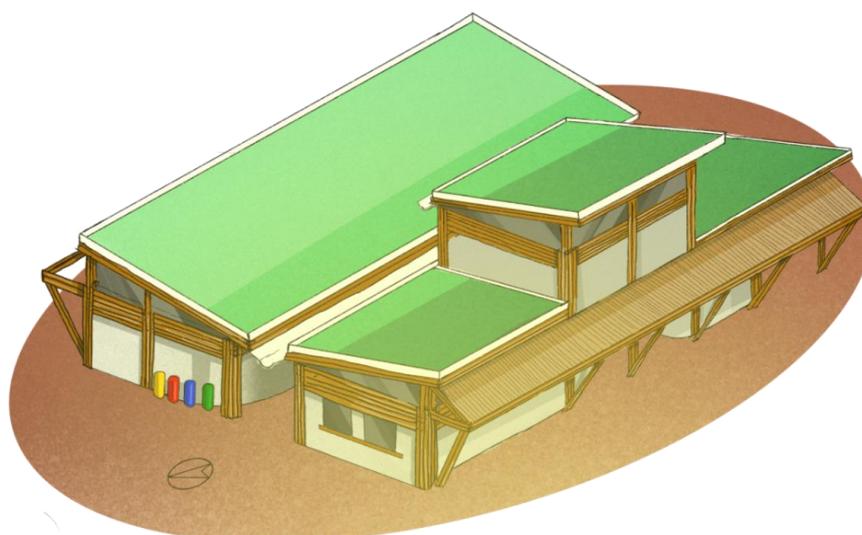


Figura 80 – Desenho em perspectiva do espaço educacional (Fonte: Autor)

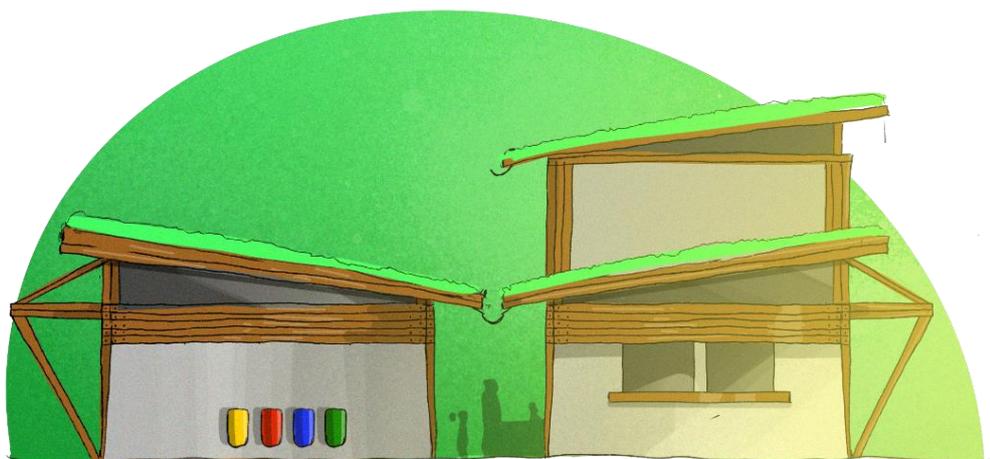


Figura 81 – Desenho da fachada do novo espaço educacional (Fonte: Autor)

Outra questão é o contexto em que surge a proposta deste trabalho. O local escolhido para a implementação do projeto foi a comunidade de Gesteira, distrito do Município de Barra Longa. O território foi atingido pelo rompimento da Barragem de Fundão em 2015, e a população sofre, até os dias de hoje, com as consequências ambientais, sociais e econômicas pós desastre. Na comunidade, funcionava uma escola, destruída pela lama, que se encontra em ruínas. As questões socioambientais do planejamento do novo espaço educacional buscou ir contra o descaso, diante das mesmas questões, por parte das atividades mineradoras no Brasil. E mais, por se tratar de um espaço educacionais, procurou-se tornar didático aos alunos as tecnologias implementadas e todas as questões socioambientais do planejamento, a fim de intensificar aspectos da Educação Ambiental.

## 5 CONCLUSÃO

O setor da construção civil é o maior gerador de resíduos e responsável por até 50% de consumo dos recursos naturais (JOHN e AGOPYAN, 2000). Diante da realidade, é necessário o pensamento sustentável dentro do setor, considerando todas as premissas que englobam o desenvolvimento sustentável. Tratando de grandes empreendimentos, nota-se o descaso com tais premissas. É o caso do rompimento da Barragem de Fundão, em 2015, no município de Mariana, que destruiu mais de 600 km por onde a lama de rejeito passou, caracterizando o acontecimento como crime ambiental, além dos inúmeros prejuízos às comunidades atingidas. Consequências da engenharia que desconsidera a ética e responsabilidade, sendo portando uma obra de necroengenharia, a engenharia da morte (PEREIRA, 2019).

A luta e o direito por territórios é uma corrida injusta diante do poder financeiro das grandes mineradoras sobre as comunidades. Além disso, o interesse pelo subsolo de territórios ricos em diversos minerais é capaz de extrapolar quaisquer direitos humanos. Resultado: comunidades afastadas de suas origens, exploração intensiva dos recursos naturais e questões ambientais em segundo plano (PEREIRA, 2019).

Dessa forma, definiu-se, como local de estudo, a região atingida pela barragem, no Município de Barra Longa: a comunidade de Gesteira, que se encontra atualmente sob o rejeito tóxico, inclusive a escola da comunidade, ao lado da capela. O trabalho foi o planejamento de um espaço educacional-cultural para ser aplicado no mesmo local da antiga escola, considerando as premissas de sustentabilidade e elaborado através da escuta, na tentativa de resgatar saberes ancestrais dos povos e a importância do território para a comunidade.

Diante do planejamento, é possível propor outros adendos ao projeto. Um deles é o dimensionamento do biossistema para tratamento interno de esgoto. Foi realizada a fundamentação teórica dessa tecnologia, no entanto, não foi confirmada a possibilidade de se utilizar as áreas ao redor do terreno destinado à escola, uma vez que o biossistema completo exige uma área considerável. Além disso, outra proposta seria a instalação de uma mini eólica para a produção de energia através dos ventos. Para isso, seria necessário o estudo de viabilidade. No entanto, de qualquer forma, seria interessante pra efeitos de Educação Ambiental.

Outra sugestão para trabalhos futuros está relacionada à distribuição e armazenamento de água. O estudo a distribuição de água no local é importante para possível ajustes na reservação dessa água. Além disso, pensando na economia e gestão de água, seria interessante realizar balanço hídrico das demandas e disponibilidades das águas de chuva para ajudar no dimensionamento do volume do reservatório. O consumo baseou-se na tabela de consumo per capita, com categoria da edificação sendo escola semi-internato. No entanto, o consumo de 100L per capita, indicado na tabela, é alto e pode ser reduzido diante do reuso de águas, além da instalação de equipamentos que auxiliam na economia de água, como torneiras especiais. E mais, no dimensionamento do reservatório de água da chuva, não foi avaliada a demanda desse uso, e seguiu apenas a expressão indicada na NBR utilizada e volume calculado foi alto. Portanto, a avaliação da disponibilidade de águas pluviais e da real demanda dessas águas pode indicar uma reservação menor.

Como trabalhos futuros sobre gestão de resíduo sólidos, destaca-se o acréscimo de pontos de coleta seletiva no planejamento do espaço. Além disso, verificar a existência ou não de associações de catadores de lixo reciclável na região a fim de estabelecer parcerias com o novo espaço educacional. Além disso, uma vez que haverá a produção de lixo orgânico, pode-se prever o uso de composteiras, por exemplos. Essas questões também seriam interessantes para a Educação Ambiental.

Somado a isso, durante o planejamento ficaram outras pendências em função das limitações que a pandemia do coronavírus trouxe. O método bioconstrutivo escolhido para o projeto foi o COB, um dos métodos de construção de terra. No entanto, não foi possível realizar o estudo do solo para verificar a viabilidade do uso. A terra utilizada para as construções em COB exige algumas características em relação a plasticidade e adesão, por exemplo, discutidas ao longo do trabalho. Dessa forma, essa questão é sugestão para futuros estudos.

Ainda sobre o solo, o local de aplicação do projeto foi diretamente atingido pela lama de rejeitos, que ainda não foi removida do local, portanto possui concentrações de elementos tóxicos. O solo para a construção seria coletado de uma região próxima não atingida diretamente. No entanto, para futuros estudos, a análise do solo em local contaminado pode ser interessante para efeitos de comparação.

Sabe-se que os métodos bioconstrutivos são ancestrais. Além disso, são resistentes e são tão eficientes quanto os métodos construtivos convencionais da atualidade. No entanto, não são explorados em largas escalas, apesar da viabilidade para que se ocorra, muitas vezes por conceitos negativos preestabelecidos. É importante e necessário o aumento das suas aplicações, como acontece em outros países como Escócia, África do Sul e Inglaterra. Além disso, não existem empecilhos para a utilização de novas tecnologia nas edificações de bioconstrução, como a energia fotovoltaica, explorada neste trabalho, indicando a associação de tecnologias contemporâneas aos conhecimentos locais ancestrais.

A comunidade de Gesteira, assim como outras comunidades atingidas por barragens, são vítimas da mineração. Essa realidade acontece em outras regiões do Brasil onde os grandes empreendimentos engolem o território, e se intensifica em territórios ocupados por povos tradicionais, indígenas e quilombolas. Este trabalho buscou abraçar as questões sociais e ambientais presentes nesse contexto e tentou realizar um projeto de engenharia responsável dentro das premissas da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Forças devidas ao vento em edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1988.

ABNT. **Instalações prediais de águas pluviais - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1989.

ABNT. **Sistemas de hidrante e Mangotinho para combate a incêndio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2000.

ABNT. **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2019.

ABNT. **Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução e manutenção**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2020.

ALVES, M. D. O.; PAGANINI, N. C.; RIBEIRO, R. M. OS BENEFÍCIOS DO BIODIGESTOR EM MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA NA ZONA RURAL, outubro 2013.

ANA, A. N. D. Á. **Conservação e Reuso de Águas nas Edificações**. São Paulo: Editora Gráfica, 2005.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. [S.I.]. 2012.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento de Água de Chuva para Fins não Potáveis na região de Vitória (ES)**. Vitória. 2005.

ARENAS, J. M. <sup>a</sup>.; AL, E. **Actuaciones realizadas tras el accidente de Aznalcóllar**. [S.I.]. 2001.

ASANO, T. **Wastewater reclamation reuse. Volume 10**. [S.I.]: Water Quality Management Library, 1998.

BATISTA, G. V.; ORTH, D. M.; BORTOLUZZI, S. D. **Geoprocessamento para determinação de acessibilidade aos equipamentos educacionais**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: [s.n.]. 2011.

BATIZ, E. C. et al. O conforto térmico e o aprendizado: estudo de caso em sala de. **XV Congresso Brasileiro de Ergonomia. ABERGO**, 2008.

BRASEL, G. R.; AL, E. **Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas: a insustentabilidade da geração excessiva de resíduos sólidos**. São Paulo: Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles, 2010.

BRASIL. Lei n. 9.785, de 29 de janeiro de 1999. **Parcelamento do solo urbano**, 29 jan 1999.

BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. **Código Florestal**, 25 maio 2012.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. Lisboa. 2006.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz: estratégias para o projeto de arquitetura..** Porto Alegre. 2004.

CALDAS, R. L. 10 Dicas para projetar edificações mais saudáveis. **ArchDaily**, 8 setembro 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/946689/10-dicas-para-projetar-edificacoes-mais-saudaveis>>.

CANTARINO, C. Inovação Uniemp. **Inovação Uniemp**, Novembro 2006. Disponível em: <[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-23942006000500025&lng=es&nrm=iso](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942006000500025&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 12 Junho 2019.

CARBONARI, G.; AL, E. BAMBU – O AÇO VEGETAL. **Mix Sustentável**, p. 17-25, 2017.

CARNEIRO, J. J.; DIAS, R. Q. **Projeto cores da terra: potencial da tinta de solo para a extensão rural**. Argentina. 2015.

CARVALHO, F. D. **Cartilha Cores da Terra**. Viçosa: [s.n.], 2009.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. Lisboa. 2002.

CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares – 2009**. [S.l.]. 2010.

CLIMATEMPO. Climatempo. **Climatempo**, 17 março 2020. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/3597/barralonga-mg>>.

CORR, D. J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada, 2002.

DOWBOR, L. Economia da água. **Administrando a água como se fosse importante: gestão ambiental e sustentabilidade**, 2005. 27-36.

DREUX, V. **Uma avaliação da legislação urbanística na provisão de equipamentos urbanos, serviços e áreas de lazer em conjuntos habitacionais**. Porto Alegre. 2004.

DUNKELBERG, K.; AL, E. **Bamboo as a building material**. Stuttgart: Institute for Lightweight, 1996.

ESCALERA, O. A. N. **Reuso direto das águas residuais municipais tratadas: uma forma de conservação de água e disposição final**. Campinas. 1995.

FARRELY, D. **The Book of Bamboo**. São Francisco: Sierra Club Books, 1984.

FILHO, R. D. T.; BARBOSA, N. P. Aplicação do bambu e de fibras naturais nas construções rurais. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA**, 1990. 81-91.

FINDES. **Prevenção ao COVID-19**. [S.l.]. 2020.

FOREST, D. F. **Aspectos da arquitetura orgânica de Frank Lloyd Wright na arquitetura paulista**. São Carlos. 2008.

FRANCO, J. T. Os edifícios de Hundertwasser: manifesto construídos de uma arquitetura humana. **Arch Daily**, 26 dezembro 2013.

FRANCO, J. T. A importância para a saúde das superfícies antibacterianas na arquitetura. **ArchDaily**, 2020 maio 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/938311/a-importancia-das-superficies-antibacterianas-na-arquitetura>>.

FRESTEIRO, R. **La luminación de los espacios com baja visión..** Madrid. 2002.

FRESTEIRO, R. H. **A influência da iluminação nos ambientes acessíveis – Identificando barreiras**. In: ORNSTEIN, Sheila Walbe (Org.); ALMEIDA PRADO, Adriana Romeiro de (Org.); LOPES, Maria Elisabete (Org.). **Desenho universal: caminhos da acessibilidade no Brasil**. São Paulo: Annablume, 2010.

G1, M. Atingidos por desastre da Samarco protestam em Barra Longa, em MG, Belo Horizonte, 9 setembro 2018.

GHAVAMI, K. Um material alternativo na engenharia. **Engenharia e Construção Civil**, 1992.

GHAVAMI, K. Madeira ecológica para habitações de baixo custo.. **Seminário Nacional do Bambu**, 2006. 111-123.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades geométricas e mecânicas de colmos dos bambus para aplicação em construções**.. Jaboticabal. 2003.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. IX, p. 107-114, 2005.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, p. 107-114, 2005.

G-NSR-10. **Estructuras de Madera e Estructuras de Guadua**. [S.l.]. 2010.

G-NSR-10. **Título G: Estructuras de madra y estructuras de guadua**. Colômbia. 2010.

GOULD, J.; NISSEN-PETERSEN, E. **Rainwater catchment systems for domestic supply: Design, constructions and implementations**. [S.l.]: ITDG Publishing, 1999.

GREGORY, S. **The definition of wet and dry periods for**. [S.l.]. 1979.

HALL, E. **A diensão oculta**. Rio de Janeiro : [s.n.], 1981.

HERCULANO, S.; PACHECO, T. **Racismo Ambiental: O que é isso?** Rio de Janeiro. 2006.

HUNDERTWASSER, F. **The Third Skin**. Viena. 1985.

HUNDERTWSSER, F. **Mouldiness Manifesto against Rationalism in Architecture**. Viena. 1958.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, p. 135-158, 2011.

JAYANETTI, D. L.; FOLLETT, P. R. **Bamboo in construction: an introduction**. Colombia: Ed. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 1998.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. São Paulo. 2000.

KAUSHAL, S. **Effects of Stream Restoration on Denitrification in an Urbanizing Watershed**. [S.l.]: Ecological Applications, 2008.

KIBERT, C. J. **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction.** in Kibert, C.J., ed. **Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction.** Tampa: CIB Publications. 1994.

KLEIVEN, T. **Natural Ventilation in Buildings: Architectural concepts, consequences and possibilites.** Noruega. 2003.

KRAKHECKE, E. Apresentação. In: PROMPT, C. **Curso de Bioconstrução.** Brasília: [s.n.], 2008. p. 2008.

KRAUSE, C. B. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica.** Rio de Janeiro: IBAM/ELETROBRAS/PROCEL, 2002.

LACAZ, F. A. D. C.; PORTO, M. F. D. S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista brasileira de saúde ocupacional**, p. 1-12, 2017.

LIMA, C. D. A. Multiespacialidades metropolitanas e construção social do lugar rumos para a sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** , p. 39-56, 2004.

MANENTI, C. Povoado que fugiu de enchente em 1979 fica ilhado por lama de barragem. **UOL Notícias**, 8 Novembro 2015. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/11/08/povoado-que-fugiu-de-enchente-em-1979-fica-ilhado-pela-lama-de-barragens.htm>>.

MARTÍNEZ, F. J. R.; GÓMEZ, E. V. **Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorias energéticas.** Madrid: Thomson-Paraninfo, 2006.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição.** [S.I.]: Letra e Imagem Editora e Produções LTDA, 2016.

MINKE, G. **Building with earth: design and technology of a sustainable architecture.** Birkhäuser. Basel: Publishers for Architecture, 2006.

MITSCH, W.; JORGENSEN, S. E. **Ecological Engineering: A Introduction to Ecotechnology.** [S.I.]: John Wiley & Sons, Inc., 1989.

MPF. [S.I.]. 2015.

NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo.** [S.I.]. 2009.

NEVES, F. H. Planejamento de equipamentos urbanos comunitários de educação: algumas reflexões.. **Cad Metrop**, p. 503-516, 2015.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin**. Berlin: Urban Water, 1999.

NRS-98. **Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente, Cargas**. Colômbia. 1998.

OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A. M. D.; NETO, M. T. D. C. **Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico**. [S.l.]. 2005.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. Bauru. 2010.

PEREIRA, D. M. **Processo Formativo em Educação Ambiental: Escolas Sustentáveis e COM VIDA**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

PEREIRA, D. M. **PERDA ECOSISTÊMICAS: Barra Longa atingida pela ruptura**. Ouro Preto. 2019.

PINHEIRO, M. D. **Construção sustentável - Mito ou realidade?** Lisboa: [s.n.], 2003.

PINTO, E. M. A. Gestão de Recursos Hídricos e as Interferências do Sistema Urbano: município de Queimados - RJ. **Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas e Sociais**, p. 125-131, 2007.

PINTO, J. G.; ROCHA, P. F. D.; BASTOS, C. C. D. Construções com bambu. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 1, p. 1-32, 2019. ISSN 1.

PROMPT, C. **Curso de Bioconstrução**. Brasília: [s.n.], 2008.

RAMOSE, M. "Sobre a legitimidade e o estudo da Filosofia Africana." In: RAMOSE, M. **Ensaio Filosófico**. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 4, 2011. p. 6-63.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do Solo e Ilha de Calor Noturna em Avenidas Marginais a Um Córrego Urbano. **Ambiente Construído**, p. 161-175, 2011.

RODRIGUEZ, A.; DELGADO, A. **A. Introducción a la Psicología del trabajo y de las**. Madrid: Pirámide, 1998.

ROSENZWEIG, C.; GAFFIN, S.; PARSHALL, L. **Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report**. [S.l.]: Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI - desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

- SALAZAR, J. **Manual de Construcción Natural Construyendo con Cob.** [S.l.]: Scribd, 2011.
- SANTOS, H. F.; MANCUSO, P. S. **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial. Reúso da Água.** Barueri: Manole, 2003.
- SANTOS, M. **Por uma outra globalização - do pensamento único à consciência universal.** Rio de Janeiro: Record, 2000.
- SAUVÉ, L. Educação ambiental e desenvolvimento sustentável: uma análise complexa. **Revista de educação pública**, p. 72-102, 1997.
- SBEGHEN, C. Conheça a escola sustentável de Michael Reynolds em Jaureguiberry, Uruguai. **Arch Daily**, 21 julho 2016.
- SEIXAS, J.; FOLLE, S. M.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores.** [S.l.]: Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E), 1981.
- SETTI, M. B. C. **Reuso de Água - Condições de contorno.** São Paulo. 1995.
- SILVA, V. D. P. R. D. et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 100-105, 2013.
- SOARES, A. **Soluções Sustentáveis - Construção Natural.** Pirenópolis: Mais Calango, 2007.
- SPERLING, M. V. **Wastewater characteristics, treatment and disposal.** Londres: IWA publishing, 2007.
- TABAIJUKA, A. K. **Rainwater Harvesting and Utilisation.** Kenya: UN-HABITAT, 2008.
- TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Florianópolis. 2006.
- TÉCNICAS, A. B. D. N. **NBR 9284: Equipamento urbano - Classificação.** Rio de Janeiro. 1986.
- TOLEDO, E. **Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad.** Maceió. 1999.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água da Chuva: para áreas urbana e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora, 2005.
- TORDO, O. C. **Caracterização e Avaliação de Água da Chuva para Fins Potáveis.** Blumenau. 2004.

TWOMBLY, R. C. **Frank Lloyd Wright - his life and his Architecture**. Nova York: Serie Wiley-Interscience Publication series, 1979.

VASCONCELOS, R. P. T.; SIQUEIRA, A. A corporeidade do artista da cena por uma perspectiva das "peles". **Anais da Semana Acadêmica do Curso de Teatro**, 2015. 31-41.

VIEIRA, K. L. S. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E A REESTRUTURAÇÃO DO ESPAÇO. **Revista Artigos. Com**, 2019.

WRIGHT, F. L. **The Natural House**. New York: Horizon Press, 1954.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. **Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago**, p. 7266-7273, 2008.

ZAMBRANO, L. M. D. A. **Integração dos princípios de sustentabilidade ao projeto de arquitetura**. Rio de Janeiro. 2008.

ZEVI, B. **Towards an Organic Architecture**. London: Faber & Faber Limited, 1949.

