



ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS
MAYLLA MATTIOLI LIMA

**PROJETO ARQUITETÔNICO DE PAVILHÃO DE AULAS
PARA A UFLA ADEQUADO A CONFORTO E
SUSTENTABILIDADE**

LAVRAS-MG

2021

ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS
MAYLLA MATTIOLI LIMA

**PROJETO ARQUITETÔNICO DE PAVILHÃO DE AULAS PARA A UFLA
ADEQUADO A CONFORTO E SUSTENTABILIDADE**

Concepção Básica apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de
Engenharia Civil, para a obtenção do
título de Bacharel.



Prof. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Orientadora

LAVRAS-MG
2021

**ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS
MAYLLA MATTIOLI LIMA**

**PROJETO ARQUITETÔNICO DE PAVILHÃO DE AULAS PARA A UFLA
ADEQUADO A CONFORTO E SUSTENTABILIDADE**

**ARCHITECTURAL PROJECT ON CLASSROOMS PAVILLION FOR UFLA
ADEQUATE TO CONFORT AND SUSTAINABILITY**

Concepção Básica apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de
Engenharia Civil, para a obtenção do
título de Bacharel.

APROVADO em 11 de fevereiro de 2021

Professora Luciana Barbosa de Abreu

Professor Wisner Coimbra de Paula



Prof. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro

Orientadora

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Lavras, aos professores e colegas que estiveram conosco durante nossa graduação. Principalmente, à Professora Priscilla Abreu Pereira Ribeiro, pela orientação nesse trabalho, toda atenção e disposição em fazer com que nosso projeto fosse o melhor possível.

Agradecemos, também, à Deus pela força, sabedoria e paciência nos momentos difíceis.

Agradeço aos meus pais, Reginaldo e Sirlene, pelo suporte constante e paciência de sempre. Ao meu irmão Israel, que com sua alegria sempre me deixava motivada. E ao meu namorado Hazenclever, por todo apoio e carinho. Aos meus familiares pelas palavras de incentivo e conselhos de vida. Todos vocês foram essenciais nesse processo de finalização de curso. E obrigada, é claro, para minha parceira de trabalho e amiga, Maylla, pela persistência e criatividade. Nosso projeto excedeu minhas expectativas e foi incrível trabalhar com você. Obrigada a todos!

Isabella Pulhez Cardoso de Barros

Agradeço aos meus pais, Sérgio e Dinara, por serem meu alicerce, por toda ajuda e apoio durante toda minha vida e em especial durante a elaboração deste trabalho. Vocês são tudo para mim. Agradeço ao meu irmão Mayck, pelos ensinamentos e por toda ajuda. À todas minhas amigas, que sempre me fizeram acreditar que tudo seria possível. E à família Leite Matioli que sempre me apoiou. Finalmente, agradeço especialmente à minha amiga e parceira de trabalho Isabella, pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntas conseguimos avançar, ultrapassar todos os obstáculos e ter como resultado esse incrível trabalho!

Maylla Mattioli Lima

RESUMO

Devido ao crescimento constante do número de estudantes e servidores que utilizam o campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), cresce também a demanda por novas edificações. Em paralelo a isso, a UFLA tem como uma de suas principais premissas o investimento em programas ambientais e de sustentabilidade, ao mesmo tempo que mantém um alto nível de ensino. De forma a unir esses aspectos, o objetivo deste trabalho é a concepção arquitetônica de um pavilhão de aulas sustentável e confortável para todos os usuários. Através da análise do terreno e das variáveis locais foi possível projetar uma edificação que possui espaços para ministração de aulas, estudos e convivência. Todos os ambientes são favoráveis para temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica, tendo em vista as necessidades específicas de edificações escolares. Além disso permite economia de energia em iluminação e resfriamento ao mesmo tempo que incentiva o aprendizado e utiliza materiais sustentáveis. Desta forma, a edificação focada em conforto e sustentabilidade melhora o desempenho dos alunos, gera profissionais mais conscientes e aprimora a imagem sustentável da UFLA, bem como incentiva a aplicação dos mesmos conceitos em próximos projetos no campus.

Palavras-chave: Edifício escolar, Sustentabilidade, Conforto ambiental

ABSTRACT

Due to the constant growth in the number of students and employees who use Federal University of Lavras (UFLA)'s campus, the demand for new buildings is also growing. In parallel to this, one of UFLA's main premises is the investment in environmental and sustainability programs, while maintaining a high level of education. In order to unite these aspects, the objective of this work is the architectural design of a sustainable and comfortable class building for all users. Through the analysis of the land and the local variables it was possible to design a building that has spaces for teaching, studying and socializing. All environments are favorable for temperature, humidity, ventilation, lighting and acoustics, taking into account the specific needs of school buildings. In addition, it allows energy saving in lighting and cooling while encouraging learning and using sustainable materials. Therefore, the building focused on comfort and sustainability improves student performance, generates more conscious professionals and enhance UFLA's sustainable image, as well as encourages the application of the same concepts in future projects on campus.

Keywords: School building, Sustainability, Environmental comfort

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de conforto humano.	16
Figura 2 - Carta bioclimática com zona de conforto em temperatura de bulbo seco (°C) de acordo com a umidade relativa, provável insolação, radiação solar e movimento do ar.	16
Figura 3 - Estratégias de organização para ventilação cruzada de edificações com corredores representadas em corte.....	17
Figura 4 - Distribuição das aberturas de ventilação.	19
Figura 5 - Dimensões internas nas salas de aula.	24
Figura 6 - Dimensões entre as carteiras.....	24
Figura 7 - Demonstração de ventilação e iluminação natural.	26
Figura 8 - Zonas bioclimáticas do Brasil.....	27
Figura 9 - Especificações para Lavras.....	27
Figura 10 - Demonstração da iluminação natural e sua relação com as aberturas.	29
Figura 11 - Planta baixa da Escola Estadual Erich Walter Heine.	34
Figura 12 – Vista em perspectiva da Escola Estadual Erich Walter Heine.	35
Figura 13 - Escola Estadual Erich Walter Heine.....	35
Figura 14 - 10 anos de desenvolvimento sustentável na Universidade de Oxford.....	36
Figura 15 - Sala de convivência e café: primeira edificação certificada pelo método Passivhaus.	37
Figura 16 - Hexágono nas colmeias.	38
Figura 17 - Localização do lote e seu entorno.....	39
Figura 18 - Levantamento do lote e posição do Norte.	40
Figura 19 - Lote asfaltado e nivelado.	40
Figura 20 - Talude entre o pavilhão dois e o lote.	41
Figura 21 - Comparação entre tipos de Cimentos Portland.....	44
Figura 22 - Composição do telhado verde.....	48
Figura 23 - Exemplos de parede verde.	49
Figura 24 - Container com telhado verde.	50

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	OBJETIVO	9
3.	JUSTIFICATIVA	10
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1.	Projeto arquitetônico e o processo de decisões	11
4.2.	Impactos ambientais causados pelas edificações	11
4.3.	Sustentabilidade na Arquitetura	13
4.4.	Arquitetura bioclimática	14
4.4.1.	Temperatura e umidade	15
4.4.2.	Ventilação	16
4.4.2.1.	Fatores que interferem na circulação dos ventos	18
4.4.3.	Intensidade Solar	19
4.4.4.	Eficiência energética	20
4.5.	Edifícios escolares	22
4.5.1.	Recomendações e diretrizes para projeto	23
4.5.2.	Arquitetura Escolar e o conforto	25
4.5.2.1.	Desempenho térmico	26
4.5.2.2.	NBR 15220-3	27
4.5.2.3.	Desempenho lumínico	28
4.5.2.4.	Desempenho Acústico	30
4.6.	Universidade Federal de Lavras e a sustentabilidade	31
4.7.	Estudo de Caso para Pavilhões de aula	34
4.7.1.	Escola Estadual Erich Walter Heine	34
4.7.1.	Universidade de Oxford	36
5.	PROPOSTA DE PROJETO	38
5.1.	Condicionantes de projeto	38
5.1.1.	Relação das pessoas com o pavilhão de aulas	38
5.1.2.	Informações do terreno	39
5.1.3.	Programa de necessidades e Pré-dimensionamento	41
5.2.	MATERIAIS	42
5.2.1.	Estrutura	43
5.2.2.	Vedação	45
5.2.3.	Pisos e Revestimentos	46
5.2.4.	Cobertura	47
5.2.5.	Aplicação da vegetação na edificação	47
5.2.5.1.	Vegetação externa ao ambiente	47
5.2.5.2.	Telhado verde	48
5.2.5.3.	Parede Verde	48
5.2.6.	Containers	49
5.2.7.	Pavimento externo	50
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
7.	CONCLUSÕES	52
8.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
9.	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO 1	60

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) foi fundada em 1908, sendo denominada primeiramente como EAL (Escola Agrícola de Lavras), em seguida como ESAL (Escola Superior de Agricultura de Lavras) e, finalmente, obtendo a federalização como Universidade Federal de Lavras. Desde então, houve um grande crescimento de alunos e funcionários, sendo que em 2019, totalizavam mais de 14 mil pessoas frequentando o campus diariamente. Tal fato ocasionou a necessidade da construção de novas edificações tanto administrativas, quanto acadêmicas, como salas de aula e espaços de estudo.

Além disso, a universidade tem como uma de suas premissas se tornar um campus sustentável e autossuficiente. Desde 2008, possui o Programa Ambiental e Estruturante e fez mudanças nas áreas de energia elétrica e eficiência energética, água e esgoto. Também possui um campus arborizado e investe em pesquisa e educação constantemente. Outro ponto importante é a sua presença em uma classificação internacional de universidades verdes, no qual teve boas pontuações, porém com potencial para evolução e fortalecimento.

Uma das formas de obter essa evolução é através do investimento em pavilhões de aula sustentáveis, já que a maioria das edificações existentes são convencionais, ou seja, sem a implementação de tecnologias construtivas objetivando a sustentabilidade. Além disso, foram projetadas focando em sua funcionalidade, gerando muitas vezes espaços que não promovem conforto ambiental aos usuários e eficiência no uso da energia elétrica e recursos naturais.

Outra questão que faz parte da essência da UFLA é promover um ensino de qualidade. Para alcançar esse objetivo, é necessário que as condições de temperatura, umidade, iluminação e acústica estejam favoráveis ao bem-estar físico e psicológico do aluno. Quanto mais confortável o usuário estiver, melhor será o seu desempenho, por isso ao projetar edificações escolares é necessária a avaliação dessas variáveis, com objetivo de criar um espaço confortável e que seja estimulante para o estudante e para o docente.

Dessa forma, construir pavilhões de aula que utilizem os conceitos de sustentabilidade e de conforto ambiental influencia positivamente, tanto na imagem da universidade para com a sociedade quanto na formação de profissionais de qualidade. Sendo assim, nesse trabalho, todos esses conceitos serão reunidos e aplicados em uma concepção arquitetônica em um lote dentro da universidade. Com a possibilidade de ser utilizada para uma construção real ou para incentivar a aplicação destes conceitos em novas construções e edificações já existentes.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fazer a concepção arquitetônica de um pavilhão de aulas, localizado na Universidade Federal de Lavras, tendo como premissas principais o conforto ambiental dos usuários e a sustentabilidade, com foco no baixo consumo energético durante a vida útil da edificação e no fortalecimento da imagem sustentável da universidade.

3. JUSTIFICATIVA

Devido ao constante crescimento da UFLA, existe a carência de salas de aula com maior capacidade e espaços de estudo, principalmente para monitorias e estudos em grupo com número maior de estudantes. Além disso, é uma universidade que se preocupa com a sustentabilidade e com gestão dos recursos naturais. No entanto, a maioria das edificações existentes são construções convencionais, que apresentam potencial para serem mais sustentáveis e para promoverem maior conforto ambiental para seus usuários.

Quando foi avaliada pela classificação de universidades verdes e sustentáveis, o UI *GreenMetric* recebeu pontuações altas nos índices de educação, pesquisa e infraestrutura. Porém, percebe-se que mais ações devem ser realizadas nas categorias: uso de energia e preocupação com mudanças climáticas, gestão do lixo e uso de água. Uma das iniciativas que poderiam melhorar a pontuação nessas categorias é a implementação de edificações sustentáveis e com baixo consumo energético, considerando a construção de novas edificações ou retrofit em pavilhões já existentes.

Sendo assim, a proposta deste trabalho é o desenvolvimento do projeto arquitetônico de um pavilhão de aulas na Universidade Federal de Lavras, tendo em vista a aplicação de soluções de planejamento dos ambientes para melhorar o conforto dos usuários e, conseqüentemente, favorecer o desempenho do aprendizado e atividades laborais. Além disso, focando-se na sustentabilidade, de forma a investir e melhorar as questões de baixa pontuação e manter as categorias em que a UFLA foi bem avaliada na referida classificação.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Projeto arquitetônico e o processo de decisões

De forma prática, o projeto arquitetônico é uma junção de processos de decisão, podendo utilizar a descrição verbal, gráfica ou simbólica, isto é, vários mecanismos de informação, para antecipar analiticamente um modelo e seu comportamento (ROSSO, 1980). É uma junção de problemas únicos e cada solução está baseada em um conjunto diferente de critérios.

A fim de chegar a soluções para determinado projeto, é necessário um estudo que vai utilizar de ferramentas, conforme explicado por Kowaltowski et. al. (2006), como sistemas de informação (referências, códigos, manuais, entre outros), desenhos, modelos, cálculos, simulações e discussões (opiniões de cliente, usuário, colaboradores, entre outros). A qualidade desse sistema de suporte reflete diretamente no processo de projeto e na sua qualidade.

Além disso, é essencial que seja adotada uma postura preventiva durante as decisões de projeto, tendo em vista todas as fases da edificação e toda a sua vida útil. É necessário analisar desde as informações do entorno, orientação solar, posição geográfica, presença de vegetação e direção dos ventos; até a escolha de materiais e métodos construtivos considerando seus aspectos e impactos ambientais.

Outro ponto importante é o estudo da fase de uso da edificação, com foco no consumo de energia e água, que pode ser otimizado em projeto através da aplicação de sistemas eficientes de iluminação e ventilação e de dispositivos de economia instalados na edificação. Todas as ações devem ser realizadas em um conjunto de iniciativas, tanto para quem projeta, quanto para os fabricantes de materiais, instituições de pesquisa e usuários, para permitir que as construções causem menos impactos ambientais (DEGANI e CARDOSO, 2002).

4.2. Impactos ambientais causados pelas edificações

A construção civil, em todas as suas fases, contribui significativamente para o uso oneroso dos recursos naturais, o aumento da emissão de gases e a produção de resíduos tóxicos, causando danos ao meio ambiente. O impacto ambiental mais significativo desse setor é a emissão dos Gases do Efeito Estufa – GEE, que tem como principais: vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio troposférico (O_3) e clorofluocarbonetos (CFC's). Desses, o mais relevante é o CO_2 , com aproximadamente 55% de participação de todas essas emissões (BUCHANAN & HONEY, 1994 citado por TAVARES, 2006).

A liberação desses gases ocorre em algumas etapas da construção como: no beneficiamento dos materiais, no seu transporte e durante a geração de energia que será utilizada desde a fabricação dos materiais até a operação da edificação. Além disso, mesmo que com menor participação, ocorre a liberação desses GEE também no funcionamento de alguns equipamentos, como o ar condicionado ou na decomposição dos resíduos gerados na demolição de uma construção.

No que se diz respeito ao beneficiamento dos materiais, o CO₂ é liberado na produção, por exemplo, do clínquer – material que passa por processamento para a fabricação do cimento Portland - e do alumínio. Segundo Tavares (2006), a fabricação do cimento é frequentemente a principal fonte de emissões de gases poluentes devido às construções, sendo responsável por 4 a 5 % de todo o CO₂ despejado na atmosfera.

Além das emissões devidas à fabricação dos materiais utilizados nesse setor, a maior parcela de liberação total de GEE é proveniente da queima de combustíveis fósseis, que são utilizados nas termoelétricas, para a geração de energia elétrica. Esses combustíveis fósseis, além de liberarem CO₂, são fontes não renováveis de energia. Os principais combustíveis são: o gás natural, o carvão e os derivados do petróleo.

No Brasil, apenas 13,3% da matriz energética corresponde a esses combustíveis fósseis utilizados em termoelétricas. Em sua maioria, a matriz é composta por fontes limpas de energia. Em 2019, por exemplo, houve 3,5% de participação da energia hidráulica como fonte da geração de energia elétrica (BEN, 2020). Devido à essa distribuição da matriz energética brasileira, o valor total dos GEE emitidos na geração de energia elétrica é reduzido, quando comparado a outros países. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2020), entre 2012 e 2017, o Brasil emitiu 83% de CO₂ por MWh gerado a menos que a China, 72% menos que os Estados Unidos e 65% a menos que a União Europeia.

No entanto, mesmo que reduzido quando comparado, o valor das emissões brasileiras para a geração de eletricidade ainda é alto, visto a crescente demanda por energia elétrica. Conforme a EPE (2020), no ano de 2018, houve um crescimento no consumo de eletricidade de 0,6% em relação ao ano anterior, com um total de 482 TWh de energia consumida. Já no ano de 2019 o consumo de energia elétrica foi cerca de 1,6% maior do que esse valor.

Portanto, é necessária a mudança nesse cenário, visto que, segundo os dados do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (2020c), de toda a energia elétrica consumida no Brasil, cerca de 44% é destinada ao abastecimento das edificações em geral. Esse fato se repete na Europa, onde 40% de todo o consumo de energia advém dos edifícios.

Sabendo-se que o setor de edificações gera impactos ambientais em toda a sua cadeia produtiva, os materiais de construção devem ser levados em consideração, bem como o seu transporte, e até mesmo o inventivo-para pesquisas de novos materiais. Também devem ser analisadas as estratégias mais viáveis para as construções a fim de causar menor impacto ambiental e tentar alcançar a sustentabilidade (AGOPYAN e JOHN, 2011).

4.3. Sustentabilidade na Arquitetura

A partir do ano de 1960, a forma como a população se desenvolvia começou a ser questionada e analisada devido aos impactos ambientais. Diante disso, foram propostas novas formas de desenvolvimento humano, econômico e ambiental, iniciando-se os primeiros eventos científicos globais a fim de discutir sobre a construção sustentável, em meados da década de 90 (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Esse movimento foi consolidado na Conferência Rio 92, a qual deu origem à Agenda 21. Esse documento visa o desenvolvimento sustentável, explicitando por meio de metas e ações a serem realizadas, para melhorar a relação do homem com o meio ambiente (TAVARES, 2006). No entanto, a forma para alcançar esse desenvolvimento é distinta para diferentes agrupamentos humanos. Países que não possuem a devida infraestrutura para o crescimento, demandam de uma abordagem diferente para a sustentabilidade, uma vez que tendem a ter maiores impactos ambientais, que são os casos dos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Dessa forma, a *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries – a discussion document* (Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento – um documento para discussão) foi criada tendo em vista a demanda social por um ambiente confortável e de qualidade para países em desenvolvimento. Esse documento coloca o ciclo de vida de uma edificação como um dos princípios do desenvolvimento sustentável. Iniciando com a extração e beneficiamento das matérias primas, no planejamento, no projeto, na técnica construtiva, na infraestrutura e na sua demolição e resíduos resultantes (TAVARES, 2006).

Sendo assim, a realização de projetos sustentáveis comumente integra três pontos importantes: ambiente, economia e sociedade. Isso se resume na capacidade de construir de forma ambientalmente correta, minimizando a degradação do meio ambiente, fazendo a economia evoluir e atendendo às expectativas da sociedade. Porém é importante ressaltar que a relação de custos e benefícios ambientais, sociais e humanos deve ser considerada juntamente com o funcionamento da infraestrutura projetada (VOSGUERITCHIAN, 2006).

Outro ponto levantado por Vosgueritchian (2006) é sobre os principais objetivos da construção sustentável, que podem ser resumidos em: evitar o desperdício dos recursos de energia, água e matérias primas; prevenir a degradação ambiental causadas por instalações e infraestrutura no seu período de utilização; e criar ambientes habitáveis, confortáveis, seguros e produtivos.

Sendo assim, o planejamento de uma edificação é essencial. A edificação terá economia de gastos durante sua utilização, melhor conforto para os usuários e os impactos ambientais minimizados, alcançando a sustentabilidade. Os estudos prévios e complementares sobre as condições ambientais locais se tornam necessários para o aproveitamento do ambiente externo e para a aplicação de soluções eficientes de acordo com os conceitos de arquitetura bioclimática.

4.4. Arquitetura bioclimática

Maragno (2002, citado por GUERRA, 2016) define arquitetura bioclimática como sendo aquela que se baseia na aplicação de elementos arquitetônicos, relacionados às características climáticas do local da construção, melhora-se o nível de conforto dos ocupantes da edificação e, ao mesmo tempo, poupando energia.

A percepção de conforto, relacionada à ambiência, apesar de variar de acordo com as exigências particulares, tem um padrão de necessidade semelhante devido às questões fisiológicas do ser humano. Essa sensação é influenciada principalmente pelas variações de temperatura, umidade, ventilação e radiação solar incidente (FROTA e SCHIFFER, 2007) dentro de um cômodo. E, caso estiverem fora da faixa de tolerância, podem causar desconforto.

Esses fatores que influenciam no conforto térmico sofrem grandes variações dependendo do local, pois cada um possui sua latitude, longitude, altitude e ainda sofrem mudanças com ações de correntes e massas de ar. Além disso, fatores de menor escala também têm influência, como por exemplo: exposição e tipo de cobertura do solo, configuração do terreno e sua inclinação.

Além das variáveis físicas e ambientais já citadas, existem variáveis pessoais e psicológicas que influenciam no conforto. Da primeira, é possível citar a taxa metabólica, que nas mulheres é de 5 a 10% mais baixa que nos homens (PAGNOSSIN, BURIOL e GRACIOLLI, 2001), e a vestimenta utilizada. Já na variável psicológica, é levada em consideração a percepção de cada indivíduo, que vai ser gerada a partir de sua preferência em conjunto com a atuação de todos os outros fatores.

Sendo assim, para a realização do projeto de uma edificação, é importante que seja alcançada a melhor alternativa entre as exigências de luz natural, ofuscamento e controle solar;

conforto térmico, efetividade da ventilação e sistemas energéticos eficientes, como afirma Vosgueritchian (2006). Então, tendo em vista que elementos externos e naturais interferem no conforto interno de uma edificação, é essencial que um projeto de concepção arquitetônica, seja ele de intervenção ou não, leve o comportamento dos usuários em consideração.

4.4.1. Temperatura e umidade

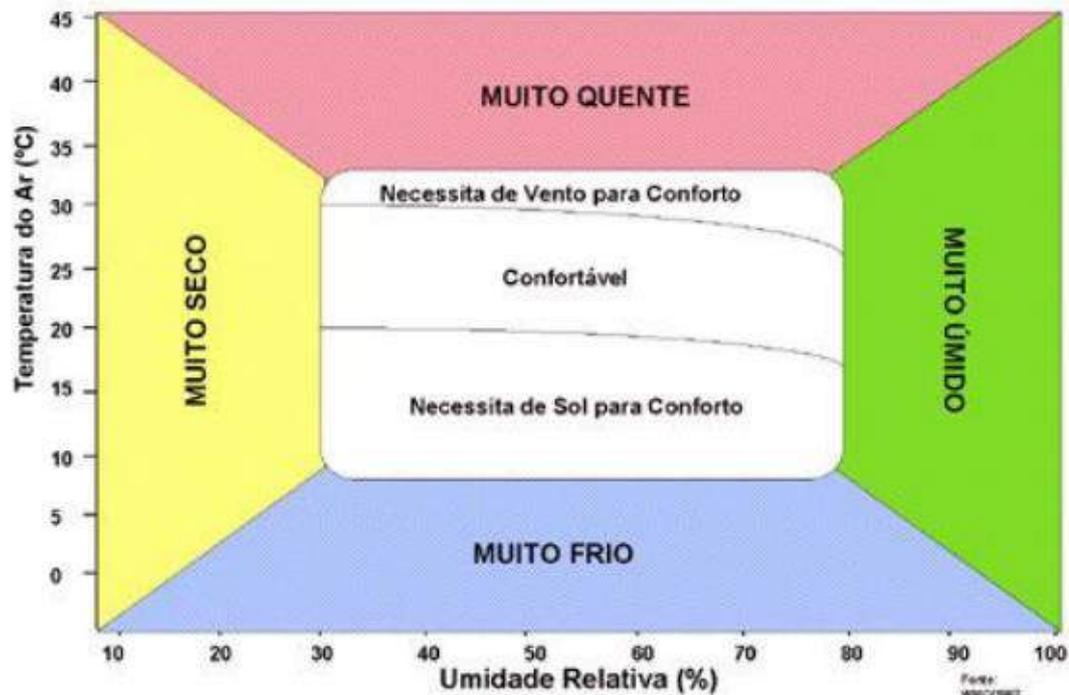
Abordando especificamente os elementos de influência do conforto térmico, o primeiro que deve ser mencionado é a temperatura, que sofre variações constantemente e em grandes amplitudes e pode afetar o conforto, com baixos ou com altos valores. Isso ocorre porque o ser humano é homeotérmico, ou seja, mantém a temperatura corporal constante, perto de 37°, através da termorregulação. Para o homem, o conforto só é obtido quando perde energia para o ambiente sem a utilização dos mecanismos de termorregulação, que são condução, convecção, radiação e evaporação (FROTA, 1995 citado por PAGNOSSIN, BURIOL e GRACIOLLI, 2001).

Focando em edifícios escolares, Batiz et.al (2009) realizaram um estudo com estudantes relacionando o aprendizado com a temperatura da sala de aula. A faixa de temperatura indicada para esse ambiente é 18 °C a 26 °C. Foram realizados testes durante o estudo e, nessa faixa de temperatura, foi obtida a maior média de desempenho, de 70% nos testes de atenção e de memória.

Uma segunda variável, que influencia o conforto, é a umidade. Suas altas taxas diminuem a capacidade de evaporação do suor, reduzindo a perda de calor corporal, como explica Junior (2008). A zona de maior conforto, para Pagnossin, Buriol e Graciolli (2001), é delimitada entre 40 a 60% de umidade relativa.

Quando ocorre um aumento simultâneo dos dois elementos, o desconforto do usuário é intensificado. Sendo assim, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2009), a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) desenvolveu o Diagrama de Conforto Humano, Figura 1. Caracterizam-se as zonas como muito frio ou muito quente e zona de muito seco a muito úmido, identificando-se a melhor faixa de conforto.

Figura 1 - Diagrama de conforto humano.



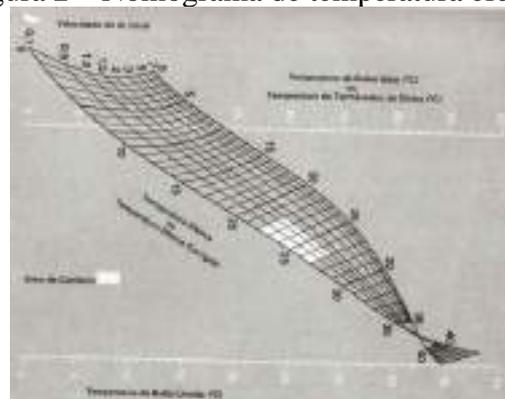
Fonte: INMET (2009) citado por Souza e Nery (2012)

4.4.2. Ventilação

A ventilação de um local se relaciona diretamente com a sensação térmica, por isso é um dos fatores que determinam o conforto térmico (NEVES, 2006). Ela é apontada como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção de conforto térmico nos espaços urbanos (BITTENCOURT et al, 2005 apud NEVES, 2006). Além de conforto, a ventilação traz uma renovação contínua do ar interno no recinto, favorecendo a salubridade do ambiente.

Também de acordo com Neves (2006), o aumento da velocidade do ar eleva a capacidade evaporativa e a perda de calor por convecção, o que pode amenizar os efeitos da alta umidade. À medida que o movimento do ar aumenta, o limite superior do conforto também se eleva e há uma aparente redução na temperatura efetiva, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Nomograma de temperatura efetiva.



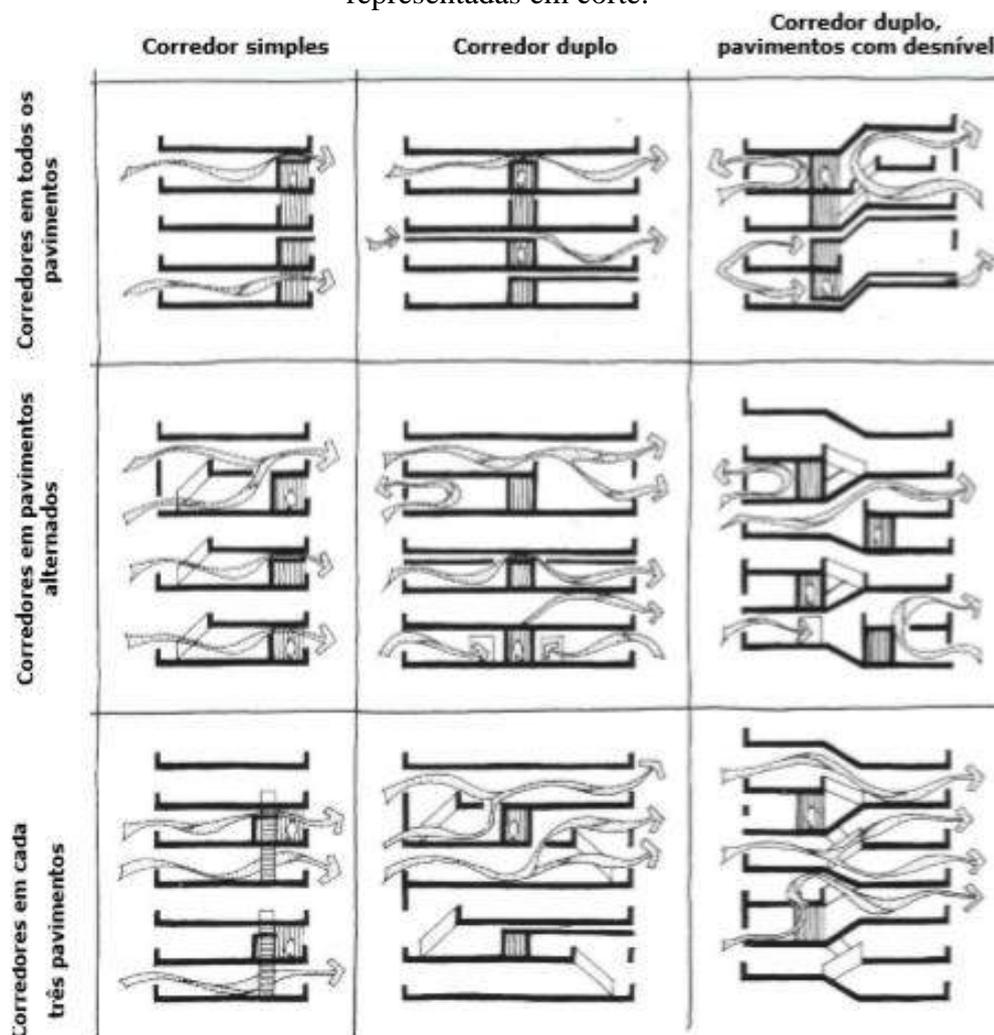
Fonte: Koenigsberger, 1977

De acordo com Costa (2009), a fim de trabalhar em conjunto com a natureza em busca do melhor resultado dentro de uma edificação, devem-se utilizar estratégias de projeto que promovam maior movimento do ar no interior das edificações para proporcionar o conforto térmico.

Uma das técnicas mais eficientes para permitir a movimentação do ar em um cômodo é a ventilação cruzada, que ocorre quando aberturas são dispostas em fachadas de diferentes orientações do edifício, sendo que as aberturas de entrada devem situar-se nas zonas de alta pressão e as de saída nas zonas de baixa pressão (NEVES, 2006). É necessário que as aberturas sejam bem posicionadas, especialmente as de entrada, já que determinam o fluxo de ar.

Além de aberturas, a organização da edificação com corredores simples, duplos ou com pavimentos com desníveis também ajuda no melhor aproveitamento da ventilação cruzada (BROWN e DEKAY, 2004 apud COSTA, 2009). A Figura 3 ilustra algumas possibilidades a serem trabalhadas em projeto, com o objetivo de aumentar o conforto térmico.

Figura 3 - Estratégias de organização para ventilação cruzada de edificações com corredores representadas em corte.



Fonte: Brown e Dekay, 2004 apud Costa, 2009.

Quando não há disponibilidade de ventos ou existem obstáculos impedindo seu acesso, outro método que pode ser utilizado é a ventilação por efeito chaminé, que garante o mínimo de movimento de ar para resfriar um ambiente interno. O funcionamento se dá pela diferença de densidade do ar, quando o ar quente se torna menos denso, sobe e sai por aberturas na parte superior do ambiente e é substituído pelo ar mais frio e mais denso que entra por aberturas na parte inferior. As aberturas de entrada e saída devem estar distantes e terem a mesma dimensão para possibilitarem um maior resfriamento do ambiente, como explica Costa (2009).

4.4.2.1. Fatores que interferem na circulação dos ventos

Alguns fatores externos podem modificar o perfil dos ventos no interior das edificações, são eles: altura, largura, forma, tipologia e orientação da edificação, o arranjo das construções vizinhas e os obstáculos. Segundo Costa (2009), outra interferência na corrente de ar é a distância entre as edificações. Esta distância pode comprometer a boa ventilação se for inferior a 5 vezes a altura do edifício.

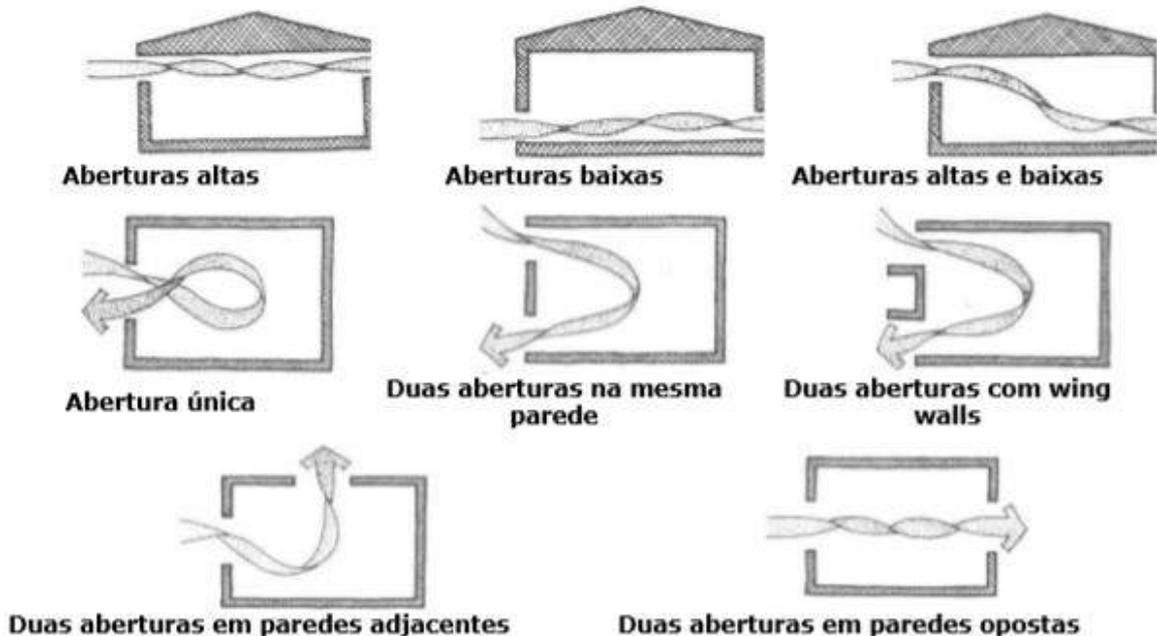
No caso de um local caracterizado por altas temperaturas, uma alternativa para possibilitar o resfriamento, e conseqüente aumento do conforto térmico, é o uso de um pátio interno. Otimiza-se a ventilação cruzada entre as edificações, se feito com uma orientação de 45° em relação aos ventos predominantes (BROWN E DEKAY, 2004 apud COSTA, 2009).

Para o interior de edificações, os principais fatores de influência da ventilação são: as aberturas de entrada e saída de ar dos ambientes; seu tamanho; localização e tipologia; e a configuração interna e externa dessa construção.

Em relação ao tamanho das aberturas, a taxa de ventilação interna é maior quando as aberturas de saída do vento são maiores, ao se considerar aberturas de entrada do mesmo tamanho entre si. Por outro lado, com entradas de ar maiores que as saídas, o fluxo de ar no interior da edificação é reduzido, porém proporciona uma melhor distribuição deste (COSTA, 2009).

Outro ponto importante é a localização dessas aberturas. De acordo com a Figura 4, é possível perceber que a cada configuração de posicionamento de aberturas, o comportamento da ventilação muda, o que reforça a necessidade do estudo da distribuição dessas para que o fluxo de ar interno seja eficiente.

Figura 4 - Distribuição das aberturas de ventilação.



Fonte: Brown e Dekay, 2004 apud Costa, 2009.

Com a utilização inteligente da ventilação local, atrelada à disposição e dimensionamento corretos das aberturas dos ambientes, e a configuração interna e externa da edificação, é possível obter uma ventilação interna eficiente. Consequentemente, diminui-se os gastos de energia com aclimação artificial.

4.4.3. Intensidade Solar

Outro elemento que se relaciona com a temperatura é a radiação solar que pode influenciar o conforto de duas maneiras. A primeira é o caminhamento do sol com a consequente entrada dos raios solares nos cômodos. Se este ponto não for levado em consideração, pode causar um aquecimento ou resfriamento excessivo do local, por exemplo, se as janelas estiverem voltadas para norte ou sul, respectivamente. O segundo ponto é a interação do aquecimento causado pela radiação com os materiais utilizados na edificação. Se estes materiais não forem escolhidos de acordo com o clima local, podem ser gerados ambientes com grandes amplitudes térmicas.

A radiação solar atua através de ondas eletromagnéticas e abrange diferentes comprimentos de onda e, de acordo com Lamberts et. al. (2016), é um dos principais contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Isso ocorre principalmente por causa de um fenômeno chamado efeito estufa, que é quando a radiação solar de onda curta entra por uma abertura e incide nos corpos que aquecem emitindo radiação de onda longa. E, ao tentar sair, é

barrada pelo vidro, que é opaco a radiação de onda longa, causando superaquecimento do ambiente interno. Em climas frios, a entrada de raios solares nos ambientes é importante para promover o aquecimento. Já em climas quentes, deve ser evitada a entrada de radiação direta, utilizando somente para iluminação do ambiente.

A fim de promover o conforto térmico em uma edificação, tendo em vista a intensidade solar, é necessária a análise dos diagramas solares do local. Os diagramas, ou cartas solares, são projeções das trajetórias do sol ao redor da Terra durante todo o ano. Sua utilização funciona como ferramenta de projeto para obter os sombreamentos, as horas de sol e a penetração da luz solar de forma a estudar qual a melhor orientação da edificação e verificar a necessidade de proteções solares, explica Lamberts et. al. (2016).

Além do conforto térmico, a intensidade solar também influencia nos gastos energéticos de um edifício. Um estudo realizado na Universidade Federal de Santa Catarina, por Ghisi (1997), analisou a utilização da luz natural nas salas de aula e foi proposta a utilização de luz artificial em apenas metade da sala e na outra metade, próxima às janelas, seria aproveitada a luz natural. Essa mudança apontou uma economia de 7,5% ao ano, sendo equivalente aproximadamente ao consumo de um mês inteiro.

Dessa forma, a arquitetura bioclimática pode ser responsável por uma redução do consumo que, segundo Braga (2007), pode chegar em 30% nas edificações já existentes e de até 50% nas novas. Isso, se for atrelado à racionalização e à eficiência energética.

4.4.4. Eficiência energética

Os sistemas de iluminação e condicionamento térmico muitas vezes contam com a utilização de equipamentos mal planejados, não eficientes e com pouca manutenção. Se trocados, são pontos onde existe um potencial de economia.

A diminuição do consumo por meio de eficiência é confirmada pelo que ocorreu na França, entre as décadas de 70 a 90. A introdução de normas energéticas foi a causa de uma redução de 75% de energia nas novas edificações (BERALDO e ROMERO, 2006, citado por BRAGA, 2007).

Para o estudo da eficiência energética de uma edificação, devem ser considerados os materiais a serem utilizados, como será o uso da água, o seu abastecimento e o seu aquecimento, os sistemas de iluminação, climatização e conforto ambiental, a qualidade da energia utilizada e os equipamentos a serem instalados (BRAGA, 2007).

Do consumo de energia utilizado nas edificações, de acordo com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (2020c), a média nacional é de 27% para refrigeração

(uso de geladeira e freezer), 24% para aquecimento de água, 20% para condicionamento de ar e 14% se destina à iluminação, sabendo que essa distribuição do consumo varia muito de acordo com o local da construção e dos equipamentos e sistemas utilizados. Sendo assim, para garantir economias e reduções no consumo de energia, os sistemas devem ser analisados e substituídos por sistemas eficientes energeticamente

Analisando especificamente Instituições Públicas de Ensino – IPE, segundo Favato (2005), a Universidade de São Paulo demonstrou que 31% do consumo total do campus representava o consumo da iluminação e 21% com climatização. Em algumas situações, levando em consideração a situação precária destes sistemas na maioria das IPE brasileiras, o potencial de economia pode chegar a 63% nos sistemas de iluminação.

Para a climatização dos ambientes no território brasileiro, a demanda por resfriamento dos ambientes é maior do que a por aquecimento. Sendo assim, os equipamentos de ar-condicionado são uma solução para o alcance do conforto (ALVES, 2019). No entanto, devido à emissão de gases gerada pelo aumento do consumo energético durante o funcionamento dos ar-condicionados, ocorre o aumento da temperatura global, sendo necessário uma crescente utilização de aparelhos que promovem o conforto térmico e assim sucessivamente (MORAES e MAGRO, 2016).

No caso do sistema de abastecimento de água, a eficiência energética pode ser alcançada com uma substituição de água potável por águas pluviais, quando possível. A água da chuva pode ser utilizada na irrigação de áreas verdes, no sistema de controle de incêndios, para utilização em ar-condicionado, lavagens de áreas externas e pisos e para descargas de vasos sanitários (BRAGA, 2007). É importante ressaltar que, em edificações escolares que possuem salas de aula expositivas, não é necessária a presença de vestiários. Por isso, nesses casos, não é levado em consideração o aquecimento da água.

No que se diz respeito ao consumo para iluminação, para que seja alcançada a eficiência energética no campus, devem ser analisadas as reais perdas deste sistema. Além disso, proporcionar programas de educação ambiental, a fim de evitar o desperdício causado pelos usuários e utilizar do aproveitamento de luz solar entre outras ações (WACHHOLZ, 2017).

Já para a aquisição de equipamentos em IPE, existe o programa de Licitações e Compras Sustentáveis, o qual contribui com os princípios de desenvolvimento sustentável nacional através da inserção de critérios socioambientais e econômicos na aquisição de bens. A preocupação que se deve tomar na aquisição dos equipamentos sustentáveis deve ser, não só com o custo de aquisição, mas também com o custo durante a vida útil do produto. Levando em conta seu baixo consumo energético, sua potência maximizada, evitando desperdícios e

consumos desnecessários, e a utilização com outros setores da universidade (WACHHOLZ, 2017).

Nesse contexto, para alcançar a eficiência energética, é necessário que os equipamentos e sistemas já mencionados sejam projetados e adquiridos de forma que dependam minimamente de energia e que tenham sua operação potencializada. Para isso, esses sistemas e equipamentos devem ser substituídos por modelos tecnologicamente avançados. Além disso, deve haver o uso consciente pelos usuários. A instalação deve ser operada de maneira correta, pensando na manutenção contínua dos equipamentos para que sejam utilizados de forma eficiente e racional.

Sendo assim, a universidade deve manter a fiscalização para que, sempre que necessário, mudanças possam ser feitas e deve agir na conscientização dos alunos. Visto isso, a eficiência energética pode ser obtida de forma prática nos edifícios escolares

4.5. Edifícios escolares

A construção de edifícios escolares difere da concepção de outros projetos, principalmente devido a sua funcionalidade e à influência do ambiente no aprendizado. Uma unidade escolar que tenha uma infraestrutura adequada, contemplando o conforto ambiental e a adequação dos espaços, é considerada mais apropriada no desempenho das suas funções pelos usuários, segundo Beltrame e Moura (2009).

Visto isso, o Ministério da Educação criou o Plano de Desenvolvimento da Educação – PDE - (BRASIL, 2007), que tem o objetivo de disponibilizar instrumentos para avaliação e implementação de políticas públicas com foco no desenvolvimento da educação no Brasil (BRITO, SIVERES, CUNHA, 2019). Um dos instrumentos lançados é o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), que tem um manual de orientações que leva instruções técnicas para o desenvolvimento de projetos de edificações de ensino público, independentemente das técnicas construtivas e materiais aplicados (FNDE, 2017).

O segundo volume do manual recebeu críticas, pois fazia a proposta de um projeto padrão, para que fosse executado com mais facilidade sem a necessidade de uma equipe especializada (BRITO, SIVERES, CUNHA, 2019). Já o terceiro volume, que está em desenvolvimento e foi publicado previamente, utiliza a variação das zonas bioclimáticas para determinação das orientações técnicas. Atinge-se, dessa forma, condições de conforto, saúde e segurança dos usuários, já que todas as variáveis da arquitetura bioclimática serão levadas em consideração.

Segundo a FNDE (2017), durante a construção de uma edificação escolar, todos os projetos devem ser elaborados de forma a minimizar as alterações no meio-ambiente, tendo em

vista principalmente as obras de terra e de saneamento. Se existir a possibilidade, devem ser priorizados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final.

Outro fato importante que deve ser considerado em projeto é a acessibilidade para todos os usuários. Quando for necessário, devem ser incluídas rampas como solução para desníveis, áreas de circulação devem respeitar a largura mínima, considerando a passagem de um cadeirante, e os banheiros devem ser dimensionados também considerando essa utilização. Para isso, deve ser utilizada a norma de acessibilidade ABNT NBR 9050 (2020).

Guidalli (2012) explica que a sala de aula, sendo ela de ensino fundamental, médio ou superior, deve ser projetada de forma a contribuir com a atividade realizada, proporcionando a interatividade dos alunos. Para que isso seja alcançado, existem diretrizes para o pré-dimensionamento de projetos escolares.

4.5.1. Recomendações e diretrizes para projeto

O FNDE (2017) faz orientações para o dimensionamento dos ambientes e explica que as salas de aula devem ser projetadas no intervalo de 1,3 a 1,5 m² por aluno. Para permitir a ventilação natural nas salas de aula, a relação mínima entre a área de esquadrias externas, que proporcionam ventilação efetiva, e a área do piso do ambiente deve ser de 1/10.

Para os banheiros é recomendado um lavatório para cada 25 alunos. No banheiro feminino, um vaso sanitário para cada 25 alunas; no masculino, um para cada 60 alunos e um mictório para cada 40 alunos. Desta forma não existe área mínima recomendada, já que depende da utilização da edificação. Em relação à iluminação natural, a relação mínima entre a área de esquadrias externas que proporcionam ventilação efetiva e a área do piso do ambiente deve ser de 1/20.

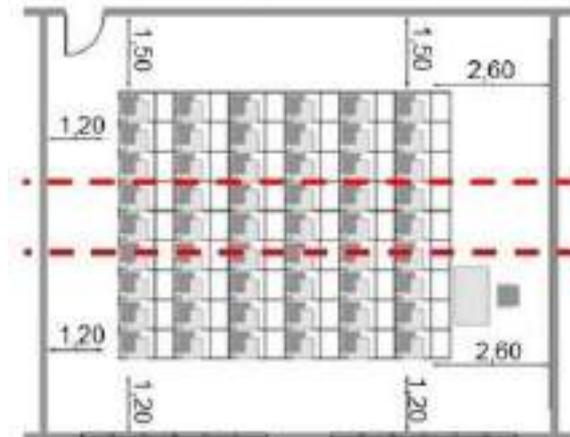
A copa para funcionários deve ter área mínima de 6 m² e área recomendada de 8 m². Além disso, para todos os cômodos é recomendado que o pé direito esteja entre 2,70 m² e 3,00 m².

Além do Fundo Nacional da Educação, foi publicado um artigo pela autora Guidalli (2012), que estudou e analisou o funcionamento das salas de aula na Universidade Federal de Brasília e na Universidade Federal de Santa Catarina e realizou questionários com os alunos. O objetivo do trabalho foi criar diretrizes de projeto que focassem na necessidade do ambiente e de seus usuários, e não pela escolha construtiva, que obriga a aula a se adaptar à forma do edifício (GUIDALLI, 2012).

A autora começa informando sobre o material para a estrutura da edificação e indica a utilização de estruturas pré-fabricadas, já que este tipo de estrutura facilita a execução da obra, agiliza a montagem estrutural, e reduz os resíduos durante a construção. Em relação ao nivelamento das salas para atender um número maior de estudantes, recomenda uma sala com desnível de piso para facilitar a visualização, e completa aconselhando esse tipo de estratégia somente para aulas expositivas.

Para o dimensionamento, Guidalli (2012) sugere uma área entre 1,80 m² e 2,00 m² por aluno. Além disso para dimensionamento do layout da sala indica: distância mínima de 2,60 m entre o quadro e a primeira fileira de alunos; uma circulação interna com 1,50 m, o espaço de 50 cm entre as carteiras e circulações laterais e posteriores de 1,20 cm, mostrado na Figura 5, abaixo.

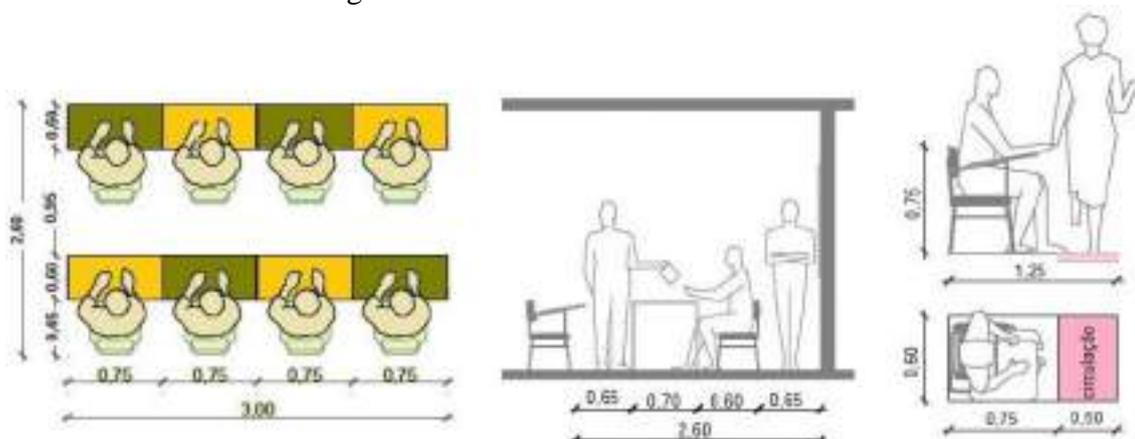
Figura 5 - Dimensões internas nas salas de aula.



Fonte: Alves, Chvtal e Castral (2011) citado por Guidalli,2012.

Um detalhe importante é que as carteiras de braços (cadeiras com prancheta acoplada) utilizadas nas instituições pesquisadas desagradam aos alunos devido à má funcionalidade e desconforto (Guidalli,2012). A Figura 6 mostra as dimensões ideais entre as carteiras.

Figura 6 - Dimensões entre as carteiras.



Fonte: Alves, Chvtal e Castral (2011) citado por Guidalli,2012.

4.5.2. Arquitetura Escolar e o conforto

A evolução da arquitetura escolar está intimamente relacionada com a história da humanidade e a importância dada à educação nas várias fases do desenvolvimento socioeconômico dos povos, que teve sua prioridade elevada ou diminuída dependendo da ocasião (KOWALTOWSKI, LABAKI E PINA, 2001). Atualmente, a maioria das nossas escolas apresenta o modo de ensino tradicional, utilizando os espaços de forma pouco criativa, além de condições ambientais aquém das desejadas. As principais falhas observadas dizem respeito às condições de conforto térmico e à funcionalidade, que tem como uma das causas a lotação excessiva nas salas de aula (KOWALTOWSKI, LABAKI E PINA, 2001).

A fim de atingir o objetivo de ensino e aprendizagem, é imprescindível que o ambiente escolar possua uma estrutura física que estimule o aprendizado e que possua recursos e ferramentas para inseri-lo na era digital (SANDES, 2016). Porém, não somente o projeto arquitetônico define um bom ambiente de aprendizado, mas também o uso pedagógico feito dele. Um ambiente limpo, organizado, bonito e atraente é um elemento educativo de grande força. Dessa forma, estimula-se a sensibilidade criativa e artística do aluno, pois, o espaço não é neutro, sempre educa (ESCOLANO E FRAGO, 2001, citado por SANTANA, 2010).

Por isso, a fim de criar espaços que cumpram o objetivo de conciliar a estrutura física e seu projeto com conforto e aprendizado, devem ser analisados todos os fatores que influenciam essa junção. Para a construção de um edifício escolar, as características internas da sala de aula devem ser analisadas, como: tipo de projeto e a configuração da sala de aula; a lotação das salas, arranjo físico do mobiliário, tipos de janelas, iluminação interna e aspectos da composição da luz (GIFFORD, 1997, citado por KOWALTOWSKI, 2011).

Outro ponto importante é a participação do usuário na busca pelo conforto. Para Gifford (1976, citado por KOWALTOWSKI, 2011), o homem é um grande modelador do ambiente natural na busca pelo conforto, por isso, é necessária a participação do usuário para tornar o funcionamento do espaço mais eficiente. O indivíduo passa a atuar na solução de problemas em relação ao espaço, fazendo com que ele se torne mais confortável e eficiente no seu aprendizado, por exemplo, com a possibilidade de abertura ou fechamento das janelas, movimentação dos brises, entre outras técnicas que permitem a influência do usuário em seu funcionamento.

Portanto, realizando uma junção de concepção arquitetônica e condições ambientais, de acordo com Kowaltowski (2011), os fatores como condições internas e qualidade do ar, temperatura e umidade, ventilação e iluminação e acústica de salas de aula, ditam a aprendizagem, por isso devem ser utilizados como fatores decisivos nas escolhas de projeto.

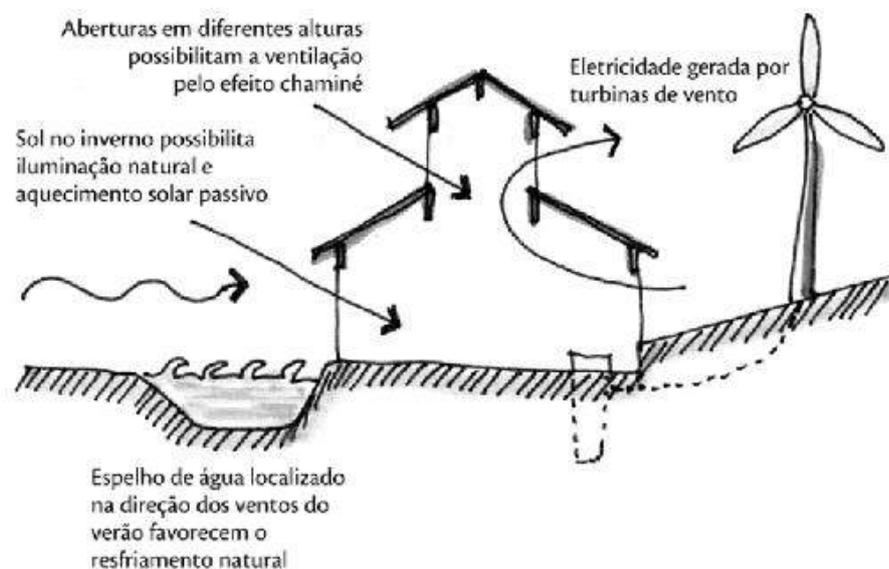
4.5.2.1. Desempenho térmico

O conforto térmico de um ambiente é essencial para a sensação de bem-estar e o bom desenvolvimento das atividades dos usuários. Situações de desconforto, em salas de aula, podem causar sonolência, alteração nos batimentos cardíacos e aumento da sudorese. Além disso, também tem seus efeitos psicológicos, como apatia e desinteresse pelo trabalho. Prejudicando, assim, o desempenho do aluno em ambiente escolar (KOWALTOWSKI, LABAKI E PINA, 2001). A autora também afirma que, na maioria dos ambientes de trabalho ou estudo, recomendam-se temperaturas em torno de 23°C.

Além disso, para edifícios escolares é recomendada a ventilação cruzada em todos os ambientes. Já que o aumento da troca de ar beneficia quanto a sensação de calor, além de contribuir de forma higiênica, reduzindo a quantidade de toxinas no ar e prevenindo a formação de fungos ou mofo. (KOWALTOWSKI, 2011).

Outro ponto importante é que as esquadrias devem permitir a manipulação pelos usuários para que no inverno seja controlada a abertura e evitado o movimento do ar que contribui para a sensação de frio. Porém, as aberturas que recebem insolação direta devem ter proteção solar em forma de beiral e brise, instalado externamente ao ambiente. A Figura 7 ilustra as condições necessárias e recomendadas de ventilação e insolação.

Figura 7 - Demonstração de ventilação e iluminação natural.



Fonte: Kowaltowski, 2011.

Em relação a vedação, além de escolhido o material a ser utilizado, deve possuir cores claras nas superfícies externas, já que a cor branca reflete os raios solares, minimizando a absorção de calor e evitando o acúmulo de calor que atravessa a parede. E, segundo Kowaltowski

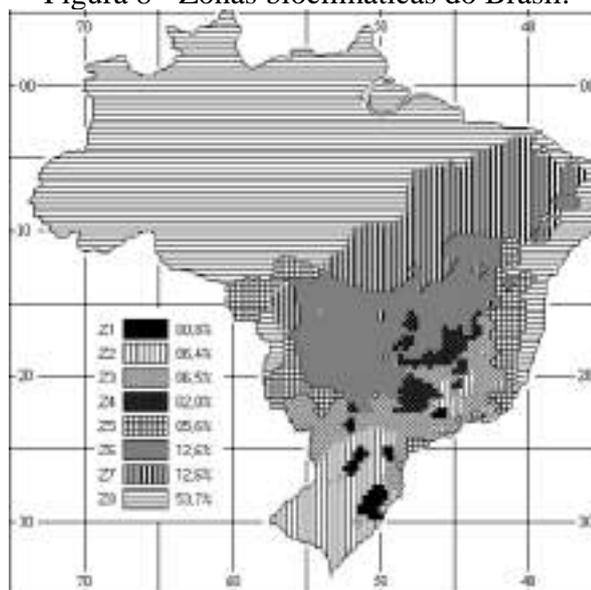
(2011), devem ser pensadas estratégias para a cobertura para aumentar a resistência térmica e atenuar a intensidade do calor transmitido.

Além disso, as escolhas de projeto também devem levar em consideração a zona bioclimática onde se insere a edificação, para que sejam obtidas a iluminação natural e a ventilação adequadas aos ambientes.

4.5.2.2. NBR 15220-3

A NBR 15220-3 (ABNT, 2003) estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro e faz recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. É feita a proposta da divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, como mostra a Figura 8, sendo que cada uma destas zonas possui um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Figura 8 - Zonas bioclimáticas do Brasil.



Fonte: NBR 15220-3 ABNT, 2003.

Em nosso país, devido as altas temperaturas no verão, predomina a busca pelo conforto, sem o uso de sistemas de condicionamento térmico nessa época do ano (FNDE, 2017). Porém, é necessário avaliar a cidade de Lavras especificamente e quais são as diretrizes apontadas pela norma. A zona bioclimática de Lavras e suas estratégias estão especificadas da Figura 9.

Figura 9 - Especificações para Lavras.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
MG	Lavras	BCFI	3

Fonte: NBR 15220-3 ABNT, 2003.

As diretrizes para a Zona Bioclimática 3, em relação a ventilação, são aberturas médias permitindo sol durante o inverno. Para as vedações externas, é recomendado parede levemente refletora e cobertura levemente isolada. Para ocorrer o condicionamento térmico passivo, é recomendado no verão ventilação cruzada e, para o inverno, o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas.

As estratégias recomendadas para Lavras definem que a forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar.

No caso de Lavras, as sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes, utilizando a correta ventilação. Por último, temperaturas internas mais agradáveis podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

4.5.2.3. Desempenho lumínico

O conforto visual está ligado diretamente ao nível de iluminação do ambiente, sendo ela natural ou artificial. Desta forma, tratando-se de especificação voltada para edificações escolares, os ambientes devem proporcionar conforto lumínico suficiente para o desenvolvimento de atividades didáticas.

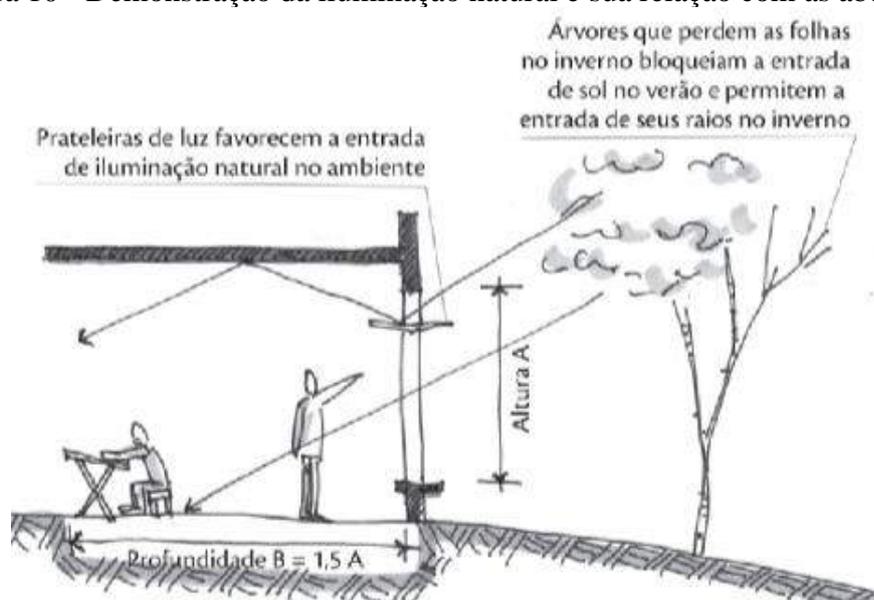
Heschong (2002) demonstrou que estudantes em salas com mais área de aberturas e maior iluminação natural obtiveram de 7% a 18% de aumento em suas notas em testes padrão, quando comparado com aqueles com menor área de aberturas e menor iluminação natural. Dudek (2007, citado por KOWALTOWSKI, 2011) também observou que, em salas de aula com maiores áreas de abertura e janelas que podiam ser operadas pelos usuários, resultavam em maior desempenho dos alunos.

Por isso o FNDE (2017) recomenda que, o primeiro passo seja estudar a orientação da edificação, com objetivo de utilizar a luz natural de forma eficiente. Consequentemente, reduzindo o consumo de energia elétrica, visto que a utilização de iluminação artificial durante o dia será reduzida. Além disso, deve ser estudada de acordo com cada localidade, adaptando os componentes das esquadrias para adequarem às características da família bioclimática da região que pertence.

No entanto, a iluminação artificial, se faz necessária em horários noturnos e deve ter o dimensionamento correto e manutenção adequada, com a escolha de boas luminárias e com bom posicionamento (KOWALTOSKI, 2001).

Para possibilitar a melhor utilização da luz natural, as aberturas devem ser estudadas e posicionadas tendo em vista as zonas bioclimáticas e o posicionamento e configuração das fachadas, uma vez que a intensidade solar é variável em cada situação (BABICK E TORRES, 2016). A Figura 10 abaixo demonstra algumas técnicas para obtenção de luz natural com as aberturas.

Figura 10 - Demonstração da iluminação natural e sua relação com as aberturas.



Fonte: Kowaltowski, 2011.

Uma das queixas realizadas por estudantes na área da iluminação é a reflexão veladora, um tipo de ofuscamento que impossibilita a leitura total ou parcial na lousa, e que provém da radiação direta no objeto (KOWALTOWSKI, LABAKI E PINA, 2001). A autora afirma que, para evitar esse ofuscamento, deve ser impedida a incidência direta de radiação solar sobre as superfícies com a utilização de prateleiras de luz, beirais, cobogós, iluminação zenital, brises, ou outros elementos de proteção solar.

É importante levar em consideração as cores do teto e das paredes internas, já que atuam nas condições de iluminação e, indiretamente ampliam a legibilidade, segundo KOWALTOWSKI, LABAKI e PINA (2001). Também é importante a utilização da NBR 8995, que estabelece os níveis de iluminância.

Sendo assim, o desempenho lumínico em um ambiente escolar interfere diretamente no aprendizado e, através da utilização estratégica das aberturas e dos sombreamentos, é possível criar um ambiente iluminado o suficiente para a realização das atividades, sem a presença de

ofuscamento. Além disso, para compensar a utilização de iluminação artificial, é recomendado a incorporação de placas fotovoltaicas, para aproveitar a energia solar no ambiente e reduzir o consumo energético (KOWALTOWSKI, 2011).

4.5.2.4. Desempenho Acústico

Para Kowaltowski, Labaki e Pina (2001), o conforto acústico é o fator que contribui mais expressivamente para o aumento ou não do nível de aprendizado. O controle de ruídos externos é visto como essencial e, além disso, são os ruídos de longa duração que interferem com maior intensidade no aprendizado dos alunos.

A exposição ao ruído tem efeito direto sobre o estado mental dos alunos e professores, podendo apresentar impactos como: baixo nível de compreensão da fala, perda da atenção e concentração, instabilidade psicológica e comportamento agressivo (FNDE, 2017). De acordo com Kowaltowski (2011), outros danos causados pela acústica precária são o efeito nos professores, que ficam menos dispostos a falar ou falam em períodos mais curtos.

Alguns fatores que podem contribuir negativamente para a acústica de uma sala de aula são o mal posicionamento da sala com contato próximo ao ambiente externo, os materiais escolhidos para vedação e escolha de aberturas. Porém, um fator em destaque é a densidade ocupacional das salas que afeta a qualidade da educação, pela redução das possibilidades de atividades variadas e agrupamentos desejáveis, além de contribuir para o a inteligibilidade da fala (KOWALTOWSKI, 2011).

Sendo assim, segundo o FNDE (2017), é necessário que os ambientes escolares providenciem a correta transmissão da fala, restrinjam ruídos provenientes do exterior e áreas adjacentes e providenciem boas condições acústicas dentro do próprio ambiente. Dessa forma, para atender a esses requisitos e aumentar o desempenho acústico em uma edificação Souza, Almeida e Bragança (2006), indicam que, primeiramente, devem ser identificados os sons e as atividades que podem interferir no conforto acústico da edificação, analisando sua relação com os arredores. Em seguida, levando essas informações em consideração, devem ser escolhidos a forma, a implantação e o posicionamento do edifício juntamente com a distribuição dos espaços internos, soluções construtivas e materiais.

Em relação às vedações e cobertura, estas devem apresentar isolamento acústico adequado para que os ruídos externos ou internos não interfiram no ensino dentro das salas de aula (FNDE, 2017). O teto pode ser construído com placas acústicas ao redor de seu perímetro e placas de gesso no centro da modulação e, além disso, pode ser chanfrado acima do professor

na frente da sala de aula, com placas de gesso e pintados com a mesma tinta das paredes da sala (KOWALTOWSKI, 2011).

Um ponto importante é a avaliação do conforto acústico, de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 2017), que estabelece valores entre 40 e 50 dB como nível de conforto para salas de aula. Portanto, a utilização de técnicas construtivas corretas pode favorecer a acústica em ambientes educacionais, facilitando a comunicação e o aprendizado.

4.6. Universidade Federal de Lavras e a sustentabilidade

A Universidade Federal de Lavras está localizada no sul de Minas Gerais, na cidade de Lavras. Foi fundada em 1908 como Escola Agrícola de Lavras (EAL) e passou a ser chamada Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) em 1938. A federalização ocorreu em 1963. Foi em 1994 que a instituição se tornou Universidade Federal e passou a se chamar Universidade Federal de Lavras (UFLA). Esse status de universidade federal foi consolidado em 2000, quando ela aderiu à Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), passando a atuar em outras áreas de conhecimento, além das ciências agrárias.

No ano de 2019, a universidade contava com 11.100 alunos de graduação, 1850 alunos de pós-graduação e 1347 servidores, incluindo docentes e técnico-administrativos, totalizando 14227 pessoas que utilizam o campus. Atualmente, são oferecidos 31 cursos de graduação presenciais e 3 a distância. Além disso, são disponibilizadas vagas em 34 áreas para mestrado e doutorado e 9 áreas para mestrado profissional. Tendo em vista o número de áreas de estudo e cursos ofertados, se faz necessário o crescimento constante de instalações com capacidades maiores para acomodar os alunos e que possibilitem a oferta de disciplinas de forma que o aprendizado não se comprometa. Esse crescimento já é uma realidade no campus, que possui obras em andamento durante todo ano.

Desde a década de 90, a preocupação com a responsabilidade ambiental começou a fazer parte da organização das universidades (MACHADO et al, 2013). Isso porque as universidades podem ser comparadas a uma cidade, devido ao número de pessoas que utilizam o campus e à sua infraestrutura, causando muitos impactos no meio ambiente (ANDRADE et al, 2016). Dessa forma, se bem planejadas, as universidades podem contribuir com o meio ambiente e na formação de pessoas com aplicações práticas de atitudes sustentáveis.

Para Alshuwaikhat e Abubakar (2008, citado por ANDRADE et al, 2016), para uma universidade ser considerada sustentável ela deve ser ambientalmente saudável, ter economia de energia, conservar recursos, reduzir os resíduos e deve promover a igualdade e justiça social.

Com relação às práticas ambientalistas, a UFLA é considerada como referência em organização sustentável. Em 2008, criou o Plano Ambiental e Estruturante que contribuiu com as práticas sustentáveis na UFLA, em que deu destaque para a renovação de todo o sistema de energia elétrica, o de coleta e tratamento de esgoto e fim de fossas sépticas, o de coleta de águas pluviais e preservação de nascente, a estruturação das bacias de drenagem, um programa de coleta de resíduos dos laboratórios, plantio de mudas e troca de destiladores (UFLA, 2020).

Com relação à energia no campus, a responsabilidade pelas ações e gestão da eficiência energética para a diminuição do consumo de energia e escolha de fontes limpas é da Coordenadoria de Gestão e Planejamento de Energia. A UFLA fez uma mudança na rede elétrica do campus, que era a mesma desde a década de 70, e na iluminação do campus, substituindo por lâmpadas mais eficientes e controlando a demanda em prédios mais modernos (WACHHOLZ, 2017). Além disso, o setor de energia tem melhorias contínuas e possui projetos promissores a fim de impulsionar a sustentabilidade, investindo em energias alternativas.

Comprovando a busca constante por sustentabilidade, em 2012, a UFLA entrou para o ranking do GreenMetric. O UI GreenMetric é um sistema de classificação de universidades, realizado pela Universidade da Indonésia, que recolhe informações, a partir de um questionário, a respeito das condições relacionadas a uma universidade verde e sustentável a nível mundial. São coletadas informações sobre o combate às mudanças climáticas, eficiência energética e conservação da água, reciclagem do lixo e transporte verde de cada universidade. Posteriormente, é gerada uma classificação que tem o objetivo de possibilitar a identificação de problemas e necessidades em relação a sustentabilidade do local que vão requerer mudanças de comportamento e atenção, tanto à sustentabilidade do meio ambiente quanto a problemas sociais e econômicos (GREENMETRIC, 2019).

Desde o primeiro ano em que entrou para o ranking até o ano de 2016, a UFLA se classificou em 1º lugar entre as universidades brasileiras (WACHHOLZ, 2017). Em nível nacional, a partir de 2017, a UFLA se classificou em 2º lugar, sendo que em 2019 foram 29 universidades analisadas. A nível mundial, em 2017, a UFLA se classificou em 35º lugar e em 2018, em 38º. Já em 2019, a nível mundial obteve a colocação de 29º lugar competindo com outras 780 universidades.

Ao analisar a pontuação de cada categoria no Ranking, os campos em que a UFLA se destacou foram educação, pesquisa e infraestrutura. No entanto, mesmo com todas as mudanças já realizadas no campus, as categorias que tiveram menores notas em relação aos outros colocados foram: uso de energia e preocupação com as mudanças climáticas, lixo e uso da água.

Nessa perspectiva, na categoria energia e preocupação com mudanças climáticas, que tem mais peso no ranking, os indicadores avaliados são: uso de eletrodomésticos eficientes energeticamente e substituição de aparelhos convencionais, implementação de edificações inteligentes e de edificações verdes refletidas em toda construção e manutenção, número de fontes de energia renováveis, uso total de energia dividido pela população do campus e programas de redução de emissão de gases.

Para a categoria lixo, os fatores de maior importância são o seu tratamento e a reciclagem. Tendo em vista que as atividades dentro da universidade geram uma quantidade maior de lixo, podem ser realizadas a separação e tratamento, reutilização e serem implementadas políticas de redução do uso de papel e plástico.

O último ponto é o uso da água, com foco nas universidades possuírem um consumo reduzido com implementação de programas de conservação. Além disso, é importante o reuso, equipamentos sanitários com uso eficiente e utilização de água tratada assim como água encanada.

Além das classificações em que a UFLA teve baixa pontuação, comparando com as outras universidades, a categoria do transporte dentro do campus, que obteve uma pontuação média, também é importante ser mencionada. Isso porque, tem participação na emissão de carbono e no nível de poluição. Os pontos indicadores são políticas de transporte para diminuir o número de veículos, uso do ônibus interno e bicicletas encorajado, políticas para estimular os alunos a andarem pelo campus, a relação do número de veículos por pessoa, programa para diminuir os locais de estacionamento e número de iniciativas de transporte que diminuam a quantidade de veículos na universidade.

Além do Ranking UI *GreenMetric*, outra questão importante sobre a busca da UFLA para sustentabilidade é o seu reconhecimento como “*Blue University*” – a segunda universidade do mundo a obter o título – que ocorreu em 2016, na Suíça. Isso ocorreu em consequência do compromisso firmado pela Instituição, por meio de seu Plano Ambiental e Estruturante, de garantir água gratuita e de qualidade à sua comunidade, bem como por todos os processos que garantem autossuficiência na produção, tratamento e distribuição da água no campus. O certificado é outorgado por iniciativa do movimento global *Blue Community* (Projeto Comunidades Azuis) – do *Council of Canadians*.

No geral, essas classificações têm o objetivo de avaliar e ao mesmo tempo incentivar o trabalho e investimento na sustentabilidade do campus, de forma a abranger todas as áreas possíveis de modificação. Sendo assim, a universidade permite que seus esforços financeiros e técnicos sejam focados nas áreas que realmente necessitam de mudanças.

4.7. Estudo de Caso para Pavilhões de aula

4.7.1. Escola Estadual Erich Walter Heine

Localizada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, a Escola Estadual Erich Walter Heine é a primeira da América Latina a receber o certificado *Leed Schools*, do *Green Building Council*. De acordo com o site da Secretaria de Educação do Governo do Rio de Janeiro, foram investidos R\$16 milhões na construção com aplicação de conceitos de eficiência energética e uso de materiais ecologicamente corretos, que trouxeram a redução de até 40% no consumo de energia, como explica Sandes (2016)

As soluções adotadas na edificação começam na implantação, pensada para ser como um cata vento facilitando a passagem de ar entre as edificações (Figura 11). Além da instalação de claraboias e da ventilação cruzada nas salas de aula e em áreas administrativas.

Figura 11 - Planta baixa da Escola Estadual Erich Walter Heine.



Fonte: SustentArqui, 2020c.

Também foram utilizadas grandes janelas nas salas e áreas de circulação para aumentar a iluminação natural, pisos e paredes ganharam cores claras e nas aberturas, foram instalados vidros verdes com película interna reflexiva para promover a redução de calor. A fachada norte recebeu brises verticais que, além do sombreamento, protegem a fachada com vegetações regionais.

Sandes (2016) ainda esclarece que, de acordo com os dados do governo, dentre as tecnologias utilizadas estão o uso de lâmpadas led, que apagam assim que as salas são liberadas; reutilização da água da chuva para uso em banheiros, hortas e jardins, que levou a uma economia de 40% no uso de água potável; instalação do telhado verde, visualizado da Figura 12, que reduz o calor e os custos de refrigeração, e espaço para reciclagem. Tais iniciativas geraram uma redução mensal de R\$ 4.000,00 para R\$ 1.600,00 na conta de água e de R\$

4.500,00 para R\$ 1.800,00 na de luz. Ou seja, em um ano se economiza apenas nessas duas contas R\$ 61.200,00.

Figura 12 – Vista em perspectiva da Escola Estadual Erich Walter Heine.



Fonte: SustentArqui

Também foi feita a instalação de eco pavimento, Figura 13. Que, além de ser permeável, utiliza materiais recicláveis como o PET, colaborando com a recuperação do lençol freático, através da penetração da água da chuva. Outro ponto importante é que a escola foi projetada para ser inclusiva e acessível, a fim de possibilitar o uso do local a todos através da utilização de rampas, identificação dos ambientes com comunicação visual e em braile e a instalação de uma piscina adaptada. Além disso, a escola trabalha sempre com a conscientização dos alunos sobre práticas sustentáveis.

Figura 13 - Escola Estadual Erich Walter Heine.



Fonte: SustentArqui

Na área de consumo energético, toda a energia comprada pela universidade é produzida por energia eólica. Além disso, é utilizada a energia solar, que ainda está em expansão, através da produção própria de 2000 painéis. Também são utilizados e instalados equipamentos com eficiência e são aplicados programas de redução de emissão de carbono.

Uma escolha interessante é que todos os alimentos vendidos na universidade são adquiridos da região, somente alimentos orgânicos e da estação. Os restos de comida são enviados para um digestor anaeróbico, criando energia e adubo. Para a gestão de lixo, é incentivada a diminuição da produção e o resíduo produzido é reutilizado ou reciclado dentro da universidade.

Já na área de edificações, é implementada a metodologia Passivhaus, do Instituto Passivhaus da Alemanha, que cria projetos sustentáveis através de edificações com baixo gasto energético. São feitos a partir do posicionamento inteligente da edificação considerando a orientação do sol e de proteções solares onde necessário; ambientes internos confortáveis, através da constante renovação do ar; aplicação de telhado verde e painéis de energia solar. Além de contribuir para o meio ambiente, as salas ficam mais confortáveis gerando maior produtividade para o usuário (UNIVERSITY OF OXFORD, 2020c). A Figura 15 mostra a primeira edificação que utilizou a metodologia e recebeu o certificado pelo instituto alemão.

Figura 15 - Sala de convivência e café: primeira edificação certificada pelo método Passivhaus.



Fonte: University of Oxford, 2020c.

5. PROPOSTA DE PROJETO

5.1. Condicionantes de projeto

5.1.1. Relação das pessoas com o pavilhão de aulas

A Universidade Federal de Lavras, vista por quem a frequenta, pode ser considerada um centro urbano que funciona em conjunto com a cidade. Os estudantes e funcionários passam a maior parte do dia no local, usufruindo do espaço e, conseqüentemente, consumindo água e energia. Por isso, é necessário que as edificações estejam preparadas para atender as necessidades dos usuários, de forma que possam utilizar confortavelmente e, ao mesmo tempo, serem sustentáveis.

Sendo assim, o projeto para o pavilhão de aulas foi desenvolvido utilizando-se de técnicas e soluções sustentáveis, para promover maior eficiência energética na edificação em conjunto com estratégias para ofertar conforto durante a estadia na edificação. A realização do projeto leva em consideração a ventilação e a carta solar, para que a escolha de formas e posicionamento do pavilhão no terreno influenciem de forma positiva, tanto no consumo de energia quanto no conforto ambiental interno. A presença de vegetação também é um ponto importante no conceito, já que pode interferir nas mudanças de temperatura e contribui para um ambiente mais agradável e favorável ao aprendizado.

Para remeter à sustentabilidade, contato com a natureza e conforto, trabalhou-se o conceito de uma colmeia (Figura 16). Ao incorporar um elemento real, no caso a colmeia, foram introduzidos o formato geométrico hexagonal e a função desse espaço. A relação se faz presente também pelo funcionamento da colmeia, em que todas as abelhas trabalham em conjunto no ambiente de natureza. Sendo assim, objetivou-se criar um local confortável e motivador para os estudos e para o convívio.

Figura 16 - Hexágono nas colmeias.



Fonte: Apiários Lambertucci, 2019

5.1.2. Informações do terreno

O lote escolhido para realização do projeto se encontra no campus da UFLA e está localizado abaixo do pavilhão 2. Suas proximidades, além do pavilhão 2, são prédios administrativos, o Departamento de Física e uma área arborizada. Também está próximo de uma área de coleta de água pluvial, das Naves 1 e 2, dos Pavilhões 1 e 2 e do Centro de convivência. A Figura 17 mostra a localização do lote e suas proximidades.

Figura 17 - Localização do lote e seu entorno.



Fonte: Google, 2020c.

Para verificação das dimensões do terreno foi realizada uma medição do local, utilizando-se uma trena. As dimensões encontradas do terreno foram de 76,6 x 32 x 69,7 x 49,8 m. A área obtida foi de 2920 m². Na visita também foi conferida a direção do Norte, informação importante para análise da trajetória solar (Figura 18).

Figura 18 - Levantamento do lote e posição do Norte.



Fonte: Autoras.

O lote atualmente tem a função de estacionamento e está nivelado e asfaltado conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 - Lote asfaltado e nivelado.



Fonte: Autoras.

Como mencionado, o lote está nivelado e asfaltado. Porém, na divisa com o Pavilhão 2 existe um talude com 6 m de altura (Figura 20). Além disso, o lote possui 26 árvores plantadas entre as vagas de estacionamento.

Figura 20 - Talude entre o pavilhão dois e o lote.



Fonte: Autoras.

Além da trajetória solar, outro fator ambiental que interfere nas decisões de projeto e no conforto ambiental, é a direção e intensidade dos ventos. De acordo com Bueno et. al. (2011), a direção predominante dos ventos dominantes em Lavras é de leste a oeste, de fevereiro a novembro. Já nos meses de janeiro e dezembro, a direção dominante se inverte, predominando de oeste para leste. A respeito da intensidade dos ventos, os meses de setembro a fevereiro apresentam a incidência de ventos fortes, com probabilidades de ocorrências superiores as dos outros meses.

5.1.3. Programa de necessidades e Pré-dimensionamento

Sobre a legislação urbanística para construções, a UFLA encontra-se localizada em área rural. Sendo assim, não possui diretrizes específicas para as construções. Portanto, serão aplicados os direcionamentos do código de obra do município de Lavras, assim como as orientações da ABNT e as recomendações feitas pelo FNDE.

Analisando o lote e sua relação com as construções próximas existentes, é necessário que a nova edificação se mantenha no padrão de verticalização. Serão projetados dois andares com salas de aula e um terceiro para sala de estudo e espaço de convivência.

No campus, com o aumento contínuo de estudantes, faz-se necessária a construção de pavilhões de aula com maiores capacidades. Por isso, no projeto são propostas três salas para 100 alunos em cada pavimento. O formato escolhido para as salas de aulas foi o de auditório com variação de nível em 15 cm para cada degrau, possibilitando a visualização de todos os estudantes. Tendo em vista a ventilação nas direções leste e oeste, é necessária a presença de

janelas nessas direções para promover a ventilação cruzada e aberturas com a intenção de possibilitar a maior entrada de iluminação natural possível.

Atendendo à acessibilidade, as portas terão a dimensão mínima de 90 cm, os banheiros terão cabines acessíveis e, para promover o acesso aos andares superiores, a edificação terá a presença de um elevador acessível.

A presença de estacionamento estimula os usuários na utilização de seus veículos e esse fato vai contra a sustentabilidade. Tendo em vista que os arredores do terreno possuem diversos estacionamentos, será aplicada uma área menor para vagas, com vagas destinadas à portadores de necessidades especiais e mobilidade reduzida.

Todos os andares vão possuir banheiros femininos e masculinos. No pavimento térreo e no primeiro também serão incluídos copa, depósito de materiais de limpeza e sala de apoio ao usuário, todos dimensionados de forma a promover o conforto.

O segundo andar terá uma sala de estudos com espaços divididos em estudos individuais, estudos em grupo e uma sala para estudos de um grupo grande ou para reuniões. Além disso, terá uma área de convivência com uma lanchonete e um palco para apresentações, sendo que uma parte dessa área será descoberta. Esse espaço vai possuir grande área de vegetação, promovendo um espaço convidativo e confortável. Para a cobertura das áreas da sala de estudo, circulação e banheiros será proposto uma laje com uma parte de telhado verde e outra parte de placas fotovoltaicas para geração de energia.

Ainda com a intenção de promover a ventilação e a iluminação, as áreas de circulação serão amplas, com aberturas na laje e nas laterais. Também nas áreas externas, é de grande importância a presença de vegetação, tanto próxima as aberturas, quanto dentro da edificação.

Seguindo as edificações próximas, para a nova edificação será proposto a implantação de um sistema para captação de água da chuva, que será destinada ao lago de armazenamento localizado ao lado do Pavilhão 2. Ademais, todos os equipamentos sanitários serão voltados para a economia de água e ao não desperdício.

Sendo assim, o pavilhão como um todo vai promover conforto aos usuários ao mesmo tempo em que utiliza sistemas que proporcionam sustentabilidade. Será uma edificação com movimentação intensa de alunos, professores e funcionários e vai promover um bom espaço de estudos, trabalho e de convivência.

5.2. MATERIAIS

A fim de obter uma edificação sustentável, é necessário escolher e estudar os materiais e sistemas construtivos que mais favorecem esse objetivo, já que é fundamental para promover

o desempenho ambiental da edificação (MACHADO, SOUZA E BARROSO-KRAUSE, 2012). Cada material foi selecionado para que a concepção arquitetônica trabalhe em conjunto e possa cumprir o objetivo de criar um pavilhão de aulas sustentável.

Com o objetivo de escolhe-los, para que tenham baixo impacto ambiental e não comprometam a viabilidade da construção, é necessário analisar alguns critérios, conforme Torgal e Jalali (2010). São eles: matéria prima proveniente de recursos renováveis; baixa energia incorporada, ou seja, baixa quantidade de energia utilizada em todo o seu ciclo de vida; valorização dos resíduos, Industrialização, tecnologia mais limpa, toxicidade e durabilidade.

Outro ponto importante é que não existe material de construção totalmente sustentável para qualquer uso. Isso porque a sua sustentabilidade está diretamente relacionada à situação em que se insere, ou seja: função que deve cumprir, local que será aplicado, uso que será dado a esse material, modo de produção, região em que se localiza a obra, zona bioclimática, hábitos e costumes do usuário, entre outros (FLORES, 2011). Por isso, devem ser analisados os critérios já mencionados e escolher aquele material que tem a melhor condição sustentável em todo seu ciclo de vida.

5.2.1. Estrutura

Para pilares e vigas foi escolhida a estrutura metálica, adotando um conceito de obra racionalizada e industrializada. Especificamente para pilares, será adotado o perfil tubular em áreas em que eles são visíveis, por questões estéticas, e perfis retangulares, quando embutidos nas paredes. A estrutura em aço foi escolhida pois em seu processo de construção permite menor prazo de execução, diminuição de recursos e reduz o desperdício no canteiro de obras; e diminui a poluição e de resíduos (MACHADO, SOUZA E BARROSO-KRAUSE, 2012).

Além disso, a construção metálica é um tipo de solução mais leve, o que conduz à construção de fundações mais reduzidas e, com isso, uma menor intervenção no solo. Devido à sua resistência e leveza, as estruturas metálicas permitem vencer maiores vãos, obter pilares mais esbeltos e fachadas mais leves (DIAMANTINO, 2014).

Outro ponto importante, segundo Machado, Souza e Barroso-Krause (2012), é a possibilidade de reciclagem, de quase 100% dos componentes da estrutura no fim da vida útil. Sem a diminuição das propriedades e da qualidade do material e a ausência de incômodos decorrentes do processo tais como ruídos elevados, poeira e poluição.

Para a laje foi escolhido o tipo *steel deck* que é uma:

“Laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto. O aço, excelente material para trabalhar à tração, é utilizado no formato de

uma telha trapezoidal que serve como fôrma para concreto durante a concretagem e como armadura positiva para as cargas de serviço” (SAÚDE et. al., 2017).

Porém, o cimento, como já mencionado, é um material construtivo que gera elevados impactos ao meio ambiente, principalmente devido sua parcela de emissão de CO₂. Por isso, a fim de diminuir os impactos, uma opção é a utilização de um concreto com a inserção de adições minerais na composição do cimento Portland, como escória de alto forno e pozolanas. Na Figura 21 está a comparação e composição de tipos diferentes de cimento, como foco no material CPIII.

Figura 21 - Comparação entre tipos de Cimentos Portland.

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + resíduos de calcário	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonáceo
NBR 5731 - Cimento Portland comum					
CPI	25	100	-	-	0
	32				
	40				
CPI-S	25	90-95	-	-	1-5
	32				
	40				
NBR 11578 - Cimento Portland composto					
CPI-B-E	25	94-96	8-34	-	0-10
	32				
	40				
CPI-B-Z	25	94-96	-	6-14	0-10
	32				
	40				
CPI-B-F	25	94-96	-	-	0-10
	32				
	40				
NBR 8734 - Cimento Portland de alto-forno					
CPIII	25	65-85	35-70	-	0-5
	32				
	40				
NBR 8736 - Cimento Portland pozolânico					
CPIV	25	81-87	-	15-50	0-5
	32				
	40				
NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial					
CPIV-AP1	≥ 54	100-97	-	-	0-5

Fonte: Guerreiro, 2014 (Citado por OLIVEIRA, 2015).

Os cimentos Portland CPIII e CPIV são os que possuem menor porcentagem de clínquer em sua composição, substância que gera elevados impactos na produção do cimento. Além disso, Oliveira (2015) afirma que o CPIII é o tipo de cimento com menor produção de CO₂ por ano e o CPIV é o que apresenta menor energia incorporada.

Outro ponto é a utilização de material reciclado atuando em conjunto com o agregado. Dentre eles alguns exemplos são a utilização de pó de mármore e de rejeito da construção civil. Oliveira (2015) constatou o ganho de propriedades mecânicas para concretos com esse tipo de material substituindo o agregado, porém, o material apresentou menor fluidez, dificultando a trabalhabilidade.

Por isso, em conjunto com a laje *steel deck* será utilizado um concreto que produz menos impacto ao ambiente com aplicação do CPIII e de 5 a 10% de material reciclado. Essa porcentagem foi a que gerou o melhor concreto, tendo em vista todas as propriedades, de acordo com Oliveira (2015) e já foi aplicado em edificações certificadas sustentáveis, como o Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello, no Rio de Janeiro.

5.2.2. Vedação

A utilização de alvenaria tradicional, como os blocos de concreto ou tijolos cerâmicos vazados ou maciços para o fechamento vertical, implica em um processo de assentamento artesanal e lento, que abre espaço para improvisações. Além de comumente, gerar poluição no canteiro de obras e desperdício de recursos, pela falta de gestão eficiente na construção e perda de materiais como areia, brita e cimento (MACHADO, 2010).

Por isso é necessária a escolha de outro material para atender as necessidades sustentáveis e uma opção é o uso da madeira. De acordo de Gauzin-Muller (2005), aumentar o uso da madeira na construção dos edifícios promove uma iniciativa direta para a diminuição do efeito estufa, pois se diminuiria a quantidade de CO₂ emitida.

A madeira é único material de construção renovável, que demanda baixo consumo energético para produção, e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore. Apresenta, ainda, fácil trabalhabilidade, excelente desempenho térmico (absorve 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolos) e acústico, além de elevada relação resistência/peso. Isto faz da madeira um material adequado para industrialização de elementos, no sentido de facilitar o transporte das peças e na montagem na obra (MOLINA E JUNIOR, 2010).

Grande parte da madeira utilizada na indústria da construção civil é absorvida de forma desequilibrada. Em geral, a madeira é subutilizada, servindo para executar as fôrmas das estruturas em concreto armado e, quase sempre, acaba descartada antes de ser aproveitada ao máximo (MEIRELLES, 2011).

Diferente dessa situação, a madeira será aplicada em painéis (*woodframe*) em todos os fechamentos do pavilhão. Especificamente no Brasil, de acordo com Molina e Júnior (2010), os projetos com estruturas baseadas em *woodframes* têm utilizado como matéria prima o pinus e, em menor quantidade, o eucalipto. Ambas espécies de reflorestamento e que apresentam crescimento rápido.

Além dos painéis de fechamento, é necessário que seja especificado um preenchimento, devido a necessidade de proteção acústica e térmica nas salas de aula. Por isso, como no Centro de Pesquisas Leopoldo Américo, edifício brasileiro que possui certificação sustentável, será utilizado um material isolante fabricado a partir de garrafas pet (MACHADO, 2010).

Também será utilizado um vidro *low-E*, que filtra os raios solares controlando a transferência de temperatura entre ambientes sem impedir a transmissão luminosa, de acordo com Machado (2010).

5.2.3. Pisos e Revestimentos

Para o revestimento das paredes será utilizada a cortiça que é um material biodegradável, reciclável e reutilizável, incluindo novamente como material de construção. Além disso, é proveniente de fonte renovável, visto que na sua extração não é necessário o abate da árvore de onde é originária (Berge, 2000, citado por VALÉRIO,2014).

Outras vantagens são a elevada eficiência em isolamento térmico e acústico. Isso devido ao elevado volume de vazios e a reduzida dimensão das células da cortiça. Além disso, seu principal composto químico, a suberina, proporciona impermeabilidade, elasticidade e compressibilidade. Também apresenta uma longa durabilidade, não libera gases tóxicos, em caso de combustão, e é um material leve, permitindo o seu manuseio com rapidez, segundo Valério (2014).

A cortiça costuma ser utilizada no isolamento de fachadas e paredes. Porém, no caso desse trabalho, vai ser necessária a pintura dessa cortiça. Visto que, em locais escolares, é preferencial a presença de cores mais claras do que o marrom, apresentado pelo material naturalmente. A cortiça aceita pintura com tintas aquosas, porém as tintas comuns podem ser constituídas por substâncias tóxicas, quando líquidas, podem emitir compostos orgânicos voláteis (COV's), os quais contribuem para poluição atmosférica, além de afetar a saúde do pintor e, quando seca, podem conter metais pesados em sua formulação.

Por isso uma opção sustentável, que não gera resíduos ou produtos tóxicos ao meio ambiente, segundo Freitas e Carvalho (2018), é a tinta produzida com argila medicinal, PVA (acetato de polivinila) e água. Foram realizados testes com essa formulação e os resultados atenderam a densidade correta, quando comparada ao boletim técnico da Suvinil, para abrasão e não apresentou danos na pintura. Apresentou, também, melhor aspecto visual e custo mais baixo do que as tintas comerciais.

Outra forma de aplicar a sustentabilidade é pesquisar empresas que tenham preocupação ambiental em todo o seu processo produtivo. Sendo assim, a empresa brasileira Portobello apresenta tais características.

De acordo com o relatório de sustentabilidade da marca, o material cerâmico é sustentável pois sua principal matéria prima é a argila, que é retirada em camadas mais superficiais que os demais materiais naturais, característica essencial para a recuperação das áreas das jazidas. Além disso, não causa impacto ambiental ao ser descartado e pode ser reincorporado em outros processos. Também é resistente ao fogo, ou seja, não libera fumaça tóxica em situações extremas e, por ser inorgânico, não emite compostos orgânicos voláteis ou gases nocivos ao sistema respiratório.

Além destas vantagens, toda a água do processo produtivo está em circuito fechado, sem nenhuma devolução ao meio ambiente e com baixa captação. Apenas o equivalente a evaporação no processo. E foi aplicada uma inovação no processo de moagem que dispensa a utilização de água. Outros pontos são a redução de distância entre as jazidas e a indústria, diminuindo a necessidade de transporte e conseqüentemente a poluição causada por essa fonte; a energia utilizada nas fábricas é 100% de gás natural e 99% dos resíduos gerados pela empresa são reutilizados ou reciclados; 100% do papel utilizado nas embalagens é reciclável; e 100% da madeira dos pallets utilizada no armazenamento e transporte é de reflorestamento.

5.2.4. Cobertura

Para a cobertura da edificação, será utilizada a mesma laje steel deck dos outros pavimentos. De forma a facilitar a manutenção das placas fotovoltaicas que serão instaladas para abastecer o pavilhão. O pátio terá inclinação de 1% para escoamento da água. Além disso, sob a laje da sala de estudos, dos banheiros e da entrada pelo pavilhão 2 será instalado telhado verde. A forma de instalação das camadas da cobertura verde e as suas vantagens serão explicadas no próximo tópico.

5.2.5. Aplicação da vegetação na edificação

A vegetação causa alguns efeitos particulares como o umedecimento do ar através da emissão de vapor d'água pelas folhas, proteção contra ventos fortes e tem efeito acústico sobre os ambientes (PAULA, 2012). Sendo assim, será aplicada de forma diferente na edificação, algumas delas são em jardins externos, telhado verde e paredes verticais.

5.2.5.1. Vegetação externa ao ambiente

Segundo Gonçalves, Camargo e Soares (2012) nos ambientes externos, a atenuação da radiação solar incidente realizada pela arborização tem papel fundamental na redução das temperaturas. Seu uso como dispositivo de sombreamento e gerador de umidade pode vir a ser bastante eficiente.

Paula (2012) afirma, que graças à identificação através dos Diagramas Solares das diferentes trajetórias do sol durante o ano, há condições de maximizar o sombreamento no verão e, se necessário, minimizá-lo no inverno através de uma disposição correta de árvores, arbustos e arvoretas. Outros impactos positivos da vegetação ao redor da edificação são a obstrução (bloqueio do fluxo de ar), a filtragem (redução da velocidade do vento), a deflexão (desvio da direção e da velocidade do fluxo de ar) e a condução (direcionamento do fluxo de ar).

Dessa forma, a arborização externa contribui de forma significativa para a melhoria do conforto térmico dos ambientes internos. Há uma atenuação do calor mesmo com indivíduos arbóreos jovens e a atenuação é mais significativa em fachadas orientadas para oeste, como é o caso do projeto (PAULA, 2012). Por isso, os espaços livres serão organizados para permitir a presença de canteiros baixos e elevados, com tipos diferentes de vegetação.

5.2.5.2. Telhado verde

De acordo com Givoni (1976, citado por OLIVEIRA,2009), o impacto da radiação solar em dias de verão, perdas de calor durante a noite e chuvas afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação. Sofrendo grandes impactos de variações de temperaturas.

Uma das alternativas para minimizar o impacto é a utilização de telhado verde ou telhado ecológico, definido pelo uso de vegetação sobre telhados. Este tipo de cobertura não deixa a radiação solar atuar diretamente na telha, além de armazenar água e atuar como isolante térmico, amenizando o calor nas horas mais quentes, e mantendo-o nas mais frias. Pela capacidade das plantas reterem o carbono, o telhado ecológico melhora a qualidade do ar, e ainda serve como isolante acústico (VACILIKIO E FLEISCHFRESSER, 2011). Nos termos de isolamento acústico, os telhados verdes o promovem através da ação tanto do substrato como das plantas. Um telhado verde com 12 centímetros de substrato pode reduzir a transmissão de sons em até 40 dB, aponta Alberto et. al. (2012).

Para a construção de um telhado verde, a laje deve ser preparada com impermeabilização e sistemas de drenagem para receber o telhado. A Figura 22 mostra as camadas de realização para instalação de telhado verde.

Figura 22 - Composição do telhado verde



Fonte: Oliveira, 2009.

5.2.5.3. Parede Verde

A denominação de fachada verde refere-se ao revestimento de alvenarias ou outras estruturas verticais, por meio do desenvolvimento em sua superfície de vegetação autoaderente

ou com auxílio de suportes, nos quais as raízes do vegetal estão na base desta estrutura, em contato direto com o solo ou com outro tipo de substrato, como explica Dunnet (2004, citado por SCHERER E FEDRIZZI, 2014). A Figura 23 demonstra a aplicação dessa vegetação.

Figura 23 - Exemplos de parede verde.



Fonte: Scherer e Fedrizzi, 2014.

Morelli (2009) informa que a parede verde pode ajudar a minimizar o calor no verão, mantendo temperaturas mais baixas e umidificando o ar através da evaporação e transpiração. No inverno, a vegetação trabalha como isolante térmico, que atinge uma porcentagem de até 30% quando a temperatura chega a 0°C na área externa. O resultado é um clima mais equilibrado e agradável (JOHNSTON e NEWTON, 1993, citado por MORELLI, 2009).

O uso de trepadeira nas fachadas é uma possibilidade para obtenção de conforto térmico, através de um elemento natural, de fácil acesso, custo baixo e de simples manutenção. Segundo Köhler (1993, citado por MORELLI, 2009), as flutuações de temperatura na superfície da parede podem ser reduzidas em até 50% com a presença da vegetação. Outros fatores importantes são a redução do vento frio, desconfortável no inverno, através dos entrelaçados da trepadeira e o conforto acústico promovido pelas paredes verticais. Por isso, ao lado das aberturas das salas de aulas serão propostas paredes verdes com trepadeiras.

5.2.6. Containers

Outra forma de atingir a sustentabilidade na construção é a redução do desperdício aliado ao aumento da produtividade. Uma forma de se alcançar essa redução é a modulação construtiva através do reaproveitamento de containers.

Segundo Azevedo, Costa e Rocha (2016), tendo em vista que a vida útil real dos containers é de 100 anos, aproximadamente, os containers têm uma vida ociosa que corresponde a 80% de sua durabilidade. Há um grande número de containers vazios espalhados ao redor do

mundo, apenas ocupando espaço nos portos e resultando em um excedente de containers sem função.

Os containers podem ser reciclados ou destinados para uma melhor utilização. Sendo assim, a área de convivência do pavilhão será planejada em um container adaptado e reformado para funcionar como lanchonete. A Figura 24 abaixo mostra um exemplo de container reutilizado.

Figura 24 - Container com telhado verde.



Fonte: Azevedo, Costa e Rocha, 2016.

5.2.7. Pavimento externo

A fim de reduzir os problemas gerados com as impermeabilizações urbanas, buscando fornecer condições mais próximas das originais no que se refere à retenção de águas, será proposto o uso de blocos intertravados com concreto permeável para a pavimentação. Este material consiste em um recurso de infiltração onde o escoamento superficial é desviado por meio de uma superfície permeável, sendo direcionado a um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (SALBEGO e SILVA, 2018)

Com o intuito de ainda permanecer sustentável em questão de material, será utilizado um concreto com um terço de agregado miúdo advindo da reciclagem de resíduos de construção produzindo um pavimento permeável, segundo Santos, Fernandes e Gonçalves (2016), que tem que ser utilizado para tráfegos leves, como a pavimentação de vias para pedestres e estacionamentos. O concreto drenante apresenta vantagens tanto com relação a seus aspectos construtivos quanto para o meio ambiente: permite a passagem das águas da chuva por sua superfície porosa e ao utilizar o material reciclado como agregado miúdo reduz o custo e os impactos ambientais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação dos conceitos de conforto ambiental e da sustentabilidade, foi possível a criação de um pavilhão de aulas que vai possuir o espaço necessário para ministração de aulas, convivência dos alunos e necessidades básicas. O pavilhão, carinhosamente nomeado de PV7, foi projetado para proporcionar um ambiente favorável em termos de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica; o que estimula o processo de aprendizado. As escolhas de projeto que condicionam esse ambiente também propiciam a sustentabilidade em todos os seus âmbitos: social, econômico e ambiental.

O âmbito social foi aplicado, primeiramente, no conceito de colmeia, fazendo a valorização da junção de trabalhos individuais e em grupo. As salas de aula, em conjunto, possuem uma capacidade para 600 alunos, com configurações ideais de espaço, e as salas de estudo promovem tanto espaços para grupos maiores, quanto menores, abrigando aproximadamente mais 110 pessoas. Além disso, foram projetadas áreas de convivência na entrada da edificação e no segundo piso, onde os usuários poderão confraternizar e se alimentar, sendo que todos os ambientes foram pensados levando a acessibilidade em consideração.

No âmbito econômico, foram priorizadas a iluminação e a ventilação natural, através do posicionamento correto da edificação e suas aberturas, tendo em vista a trajetória solar e a incidência de ventos no local. Essa decisão favorece a diminuição de necessidade de iluminação e resfriamento artificiais, o que gera economia de energia para o pavilhão.

Já no âmbito ambiental, primeiramente, pode ser considerada também a diminuição de uso de energia. Além disso, todos os materiais utilizados especificados para o projeto são sustentáveis, cada um à sua maneira, e serão instaladas placas fotovoltaicas, para que a energia utilizada tenha fonte limpa e renovável. Outro ponto importante é que a vegetação está intensamente presente no pavilhão e essa conexão com a natureza favorece ainda mais a questão ambiental.

Em relação às necessidades básicas para a edificação, o projeto possui banheiros corretamente dimensionados e acessíveis, copa e depósito de material de limpeza para os funcionários e uma sala de apoio para professores. Também possui vagas de estacionamento na entrada e acesso do Pavilhão 2 tanto com uma escada para o térreo, quanto com uma passarela em rampa para o 2º pavimento do Pavilhão 7.

O anteprojeto, projeto executivo e imagens da maquete 3D encontram-se no Anexo 1.

7. CONCLUSÕES

A sustentabilidade e o conforto ambiental têm grande potencial de desenvolvimento conjunto em edificações escolares, pois ao mesmo tempo que podem melhorar o desempenho dos alunos e gerar profissionais mais conscientes sobre o meio ambiente, melhora a eficiência energética e a imagem sustentável da UFLA. O campus ser sustentável tem um impacto não somente na valorização da universidade, serve também de exemplo para a comunidade de Lavras, a fim de que esse conceito, tão importante atualmente, possa “sair” do campus e ser aplicado na cidade como um todo.

A aplicação deve ser iniciada desde a concepção da edificação, a fim de que todas as variáveis ambientais do local sejam analisadas. Isso porque, há grande variação de possibilidades para projetos com diferentes posicionamentos, aberturas, circulação de pessoas, entre outros.

Essa junção também permitiu a aplicação de diferentes tipos de materiais: tanto os que foram desenvolvidos para serem sustentáveis e materiais renováveis naturais, quanto em materiais comuns, porém com empresas focadas no meio ambiente, desde a produção até a entrega do produto. Em outras palavras, a aplicação de materiais sustentáveis é viável em todo tipo de projeto.

Dessa forma, o projeto do Pavilhão 7 serve não só como uma opção realmente aplicável e possível de construção para a universidade, mas também funciona como um exemplo para os próximos projetos de pavilhão de aula a serem executados. Para atingir a total sustentabilidade e o conforto ambiental no campus, é necessária a aplicação desse conceito em todas as edificações.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, seria interessante a análise e simulação no software Energyplus para verificar o nível de eficiência energética e de conforto ambiental do pavilhão. Também há necessidade de complementação dos projetos, com o desenvolvimento dos projetos estrutural, elétrico, hidrossanitário e de combate e prevenção a incêndio. Ademais, sugere-se a realização do cálculo financeiro, a fim de avaliar a viabilidade econômica do projeto.

9. REFERÊNCIAS

ALBERTO, E.Z. et al. **Estudo do telhado verde nas construções sustentáveis**. XII Safety, health and environment world congress. São Paulo, 2012.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil: volume 5**. São Paulo, SP: E. Blücher, 2011. 141 p.

ALVES, Carolina Abrahão. **A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição**. 2019. 257p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

ALVIM, A.E. Portal UFLA, **Blue university: compromisso da ufla com a gestão das águas foi lembrado nessa quarta**. Disponível em: <<http://www.ufla.br/dcom/2017/03/23/blue-university-compromisso-da-ufla-com-a-gestao-das-aguas-foi-relembado-nessa-quarta-223/>>. Acesso em 30/03/2020.

ANDRADE, L., BRITO, M., BRITO, V., BAETA, O. **Estratégia como Prática: uma Análise das Práticas Ambientalistas da Universidade Federal de Lavras (UFLA)**. Revista de Gestão Social e Ambiental, 10(2), 02-18, 2016.

APIÁRIOS LAMBERTUCCI. Tipos de colmeia, 2019. Disponível em: <<http://apiarioslambertucci.com.br/blog/2019/01/22/o-incrivel-mundo-das-abelhas-a-colmeia/>>. Acesso em 20/11/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

AZEVEDO, V. S.; COSTA, R. A.; ROCHA, R. C. **Edificações sustentáveis compostas por sistemas construtivos modulares em aço: utilização de containers para construção de polos educacionais universitários**. São Paulo. Congresso Latino –Americano da Construção Metálica. Set, 2016.

BABICK, C. S.; TORRES, M. C. A. **Análise do desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão de edifício escolar do FNDE de acordo com os requisitos de normas e referenciais nacionais e internacionais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 4, n.2, p. 110-128, jul./dez. 2017.

BEM- Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2020

BATIZ, E.C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J.J.; KASMIRSKI JUNIOR, P.; VENSKE, R. **Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória.** Produção, Florianópolis, v.19, n.3, p.477- 488, 2009

BELTRAM, L. **Simulação computacional do desempenho energético de uma edificação comercial.** Monografia– Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BELTRAME, M.B. e MOURA, G.R.S. **Edificações: infraestrutura necessária ao processo de ensino e aprendizagem.** Revista Travessias. 2009. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/travessias/article/view/3378>>. Acesso em 09/07/2020.

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial.** Orientador: Profa. Carmela Maria Polito Braga. 2007. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

BRASIL, Ministério da Educação. O Plano de Desenvolvimento da Educação: razões, princípios e programas. Brasília: MEC, 2007.

BRITO, R. O.; SIVERES, L.; CUNHA, C. **O uso de indicadores para avaliação qualitativa de projetos educativos socioambientais: a gestão participativa no ambiente escolar.** Rio de Janeiro, 2019.

BUENO, R C. et al. **Estudo de rajadas de ventos e direções predominantes em Lavras, Minas Gerais, por meio da distribuição gama.** Ciência Agrotécnica, v. 35, n. 4, p. 789-796, 2011.

COSTA, L. C. N. **Aproveitamento da ventilação natural nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju SE.** Dissertação apresentada à comissão de Pós-Graduação da faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre. São Paulo, 2009.

DEGANI, C. M., & CARDOSO, F. F. (2002). **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a Importância da etapa de projeto arquitetônico.** NUTAU - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, 2002.

DIAMANTINO, P. N. **Sustentabilidade na Construção Metálica.** Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.

DUDEK, M. **Schools and kindergartens: a design manual.** Basel, Boston: Birkhäuser.2007

EPE – Empresa de pesquisa energética. **Atlas de eficiência energética Brasil- 2019: Relatório de indicadores.** 2020.

FAVATO, L. B. **Indicadores de Eficiência Energética em Edifícios da USP: Conceção, Aplicabilidade e Desdobramentos Energético - Ambientais Associados.** Dissertação de Mestrado – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.

FLORES, C. Z. **Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental**. Dissertação (Pós-graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR. 2011.

FREITAS, C. M. P.; CARVALHO, F. R. **Desenvolvimento de tintas com pigmentos naturais: preparação, aplicação e avaliação**. Revista Científica Univiçosa - Volume 10 - n. 1 - Viçosa-MG - jan/dez, 2018

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8. ed. São Paulo, SP: Studio Nobel, 243 p.; 2007.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO(FNDE). Diretoria de Gestão, Articulação e Projetos Educacionais. **Manual de orientações técnicas: Elaboração de projetos de edificações escolares: Ensino Fundamental**. A ser editado por FNDE. Brasília, 2017.

GONÇALVES, A.; CAMARGO L. S.; SOARES, P. F. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano: Estudo de caso da cidade de Maringá-Paraná**. III Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Paraná,2012.

Green Building Council Brasil. “**Conheça a Certificação LEED**”, c2020.Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>>. Acesso em 16/03/2020.

Green Building Council USGBC. “**LEED Certification fees**”, c2020.Disponível em: <<https://www.usgbc.org/>>. Acesso em 16/03/2020.

GAUZIN- MÜLLER, D. **Madeira como estrutura: a história da ITA**. São Paulo,2005.

GUERRA, Mariana de Rezende. **Projeto e Desenvolvimento de uma Planta Piloto com Conceitos de Arquitetura Bioclimática**. Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

GUIDALLI, C. R. R. **Diretrizes para o projeto de salas de aula em universidades visando o bem-estar do usuário**. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2012.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: Estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 1997.

HESCHONG, L. **Daylighting and human performance**. ASHRAE Journal 44 (8), 65–67, 2002.

HEYWOOD, Huw. **101 regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. 1. ed. São Paulo, SP: Gustavo Gili, 2015. 237 p.

JUNIOR N. K. M. **Altas temperaturas: Movimento e percepção**: Espírito Santo do Pinhal, SP.; 9(12): 6-17. Jan./Jun; 2008.

KNIJNIK, D. C.; **Aplicação da norma ASHRAE 90.1 e da certificação LEED em edificação comercial**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia

Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y Edifícios em Zonas Cálidas y Tropicales**. Paraninfo, 323 p. Madrid, 1977.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 07-19, abr./jun. 2006. ISSN 1415-8876, c2006.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI D. C. C. K; LABAKI, L.; PINA, S. Conforto e ambiente escolar. Bauru. 2001.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

MACHADO, R., FRACASSO, E., TOMETICH, P., & NASCIMENTO, L. **Práticas de gestão ambiental em universidades brasileiras**. Revista de Gestão Social e Ambiental, 7(3), 37-51, 2013.

MACHADO R. C.; SOUZA H. A.; BARROSO-KRAUSE C. **Processo de seleção de materiais em uma construção sustentável em estrutura metálica - estudo de caso: a ampliação do Cenpes**. ConstruMetal, Rio de Janeiro, 2012.

MACHADO, R. C. **Aspectos da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

MEIRELLES, C. R. M. et al. **Tecnologia das construções em madeira: adequação dos sistemas de fechamento e vedação**. Relatório Técnico Científico. São Paulo: MACKPESQUISA, 2011.

MOLINA, J. C.; CALIL JR, C. **Sistema construtivo em wood-frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, dez. 2010

MORAES, E. C.; MAGRO, F. V. G. **Eficiência energética com foco no conjunto dos condicionados de ar de um hospital veterinário em Maringá**. Revista Uningá Review, [S.l.], v. 29, n. 1. ISSN 2178-2571, jan. 2017.

MORELLI, D. D. O. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído**. Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas, 2009.

NEVES, L. O. **Arquitetura Bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural**. São Carlos: Universidade de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –

Faculdade de Engenharia, Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade nas edificações**. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

PAGNOSSIN, E.M.; BURIOL, G.A.; GRACIOLLI, M.A. **Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas**. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciên. Biol. e da Saúde, Santa Maria, v.2, n.1, p.149-161, 2001.

PAULA, R. Z. R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004

PORTOBELLO. **Relatório de sustentabilidade 2019**. Disponível em: <<https://www.portobello.com.br/sustentabilidade/relatorios/>>. Acesso em 20/12/2020.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980.

SALBEGO, A. G.; SILVA, A. M. S. **Influência das intensidades de precipitações na eficiência de pavimento intertravado de concreto permeável**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, Maceió/AL, ago., 2018.

SANTOS, T. F.; FERNANDES, M. E. GONÇALVES, DR^a E. P. **Pavimento intertravado permeável com resíduos da construção civil e microesferas de parafina**. Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

SAÚDE, J.; RAIMUNDO, D.; PROLA, L. C.; PIERIN, I. **Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações do eurocódigo 4**. Tomar, Portugal, 2017.

SANDES, P. D. A. S.; **Anteprojeto arquitetônico de uma escola pública modelo sustentável de ensino fundamental em Aracaju/SE**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Arquitetura) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, 2016.

SANTANA, Tatiane Menezes. A relação da arquitetura escolar com a aprendizagem. IV Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade, 2010.

SCHERER, M.J.; FEDRIZZI, B.M. **Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano**. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*. Rio Grande do Sul, v.2 ,n.2, jan/jun. 2014.

SOUZA, L.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos (SP): EdUFSCar, 2006.

SUSTENTARQUI, “**Colégio Estadual no RJ recebe certificação Leed**”, 2013. Disponível em:< <https://sustentarqui.com.br/colégio-no-rj-recebe-certificacao-leed/>>. Acesso em 25/04/20.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Orientador: Prof. Dr. Glicério Trichês. 2006. 225 p. TESE (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2006.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção**. Congresso Construção. Coimbra, 2007.

UFLA. **Portal UFLA**, Universidade Federal de Lavras, c2020. Sobre a UFLA. Disponível em: <<https://ufla.br/sobre>>. Acesso em 27/03/2020.

UI GREENMETRIC: **World University Ranking**, c2019. Disponível em: <<http://greenmetric.ui.ac.id/>>. Acesso em 20/03/2020.

UNIVERSITY OF OXFORD. **Sustainability**. c2020. Disponível em: <<https://sustainability.admin.ox.ac.uk/home>>. Acesso em 20/11/2020.

VACILIKIO, D. V.; FLEISCHFRESSER, L. **Comparação entre telhado verde e convencional nas temperaturas internas de ambientes**. In: II Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2011.

VALÉRIO, A. F. B. **Materiais para uma construção sustentável: o caso da cortiça**. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

VOSGUERITCHIAN, A. B.; **A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas**- São Paulo, 2006.

WACHHOLZ C. B. **Campus sustentável e educação: desafios ambientais para a universidade**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2017.

ANEXO 1









PLANTA BAIXA
COBERTURA
Escala não definida



Fachada PV7



Vista do PV7 e do estacionamento pela entrada principal



Vista do PV7 pela escada de acesso ao PV2



PV7 e área de convívio descoberta



Vista da estrutura vazada pelo pavimento térreo



Vista da escada no primeiro piso



Vista da sala de aula 4 e corredor do primeiro piso



Cena interna da sala de aula



Rampa de acesso ao segundo piso pelo PV2



Área cultural no segundo piso

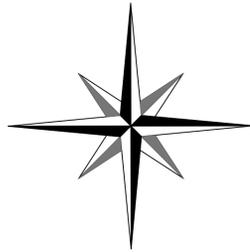


Cantina localizada no segundo piso



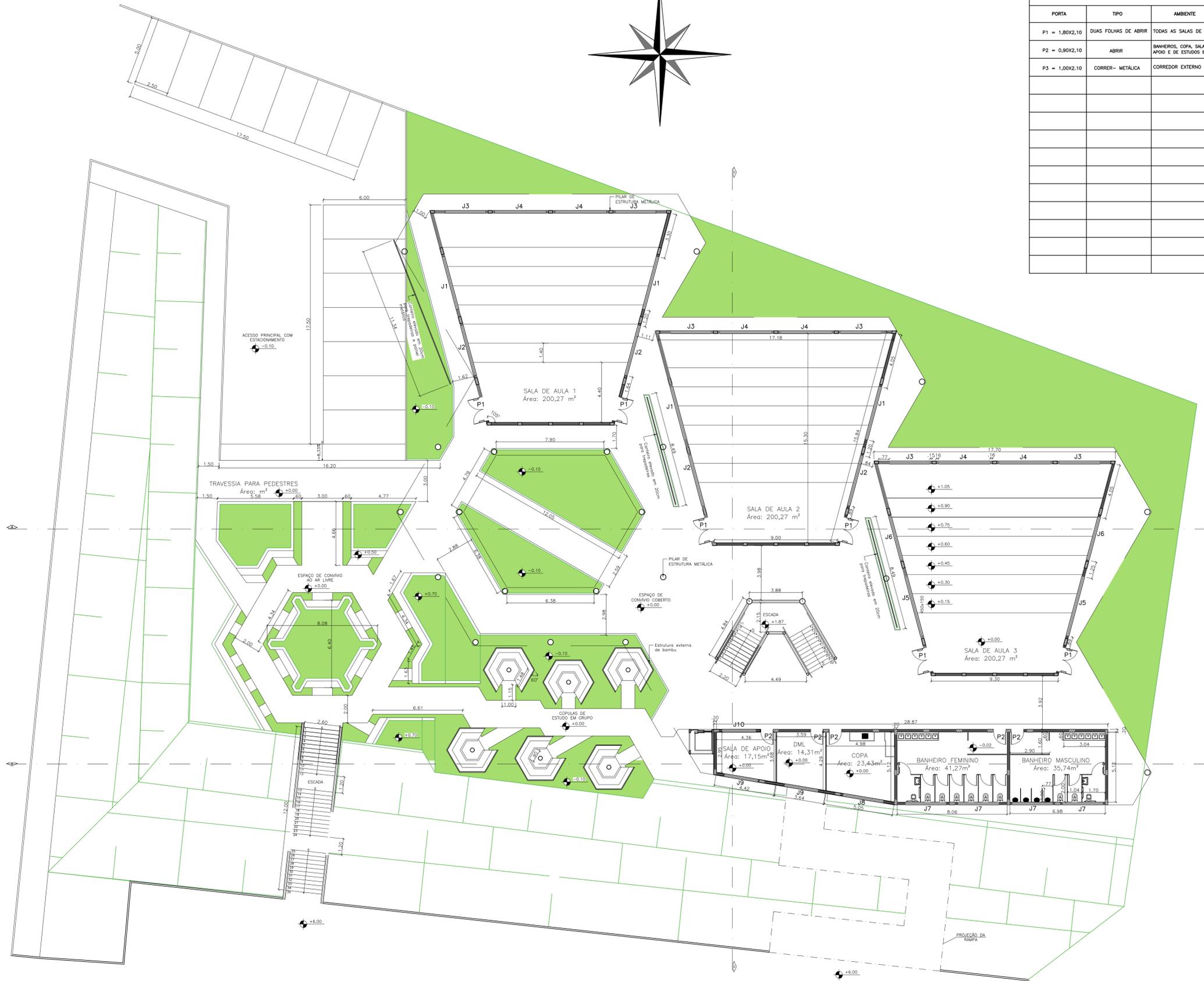
Container reutilizado para uso como lanchonete

N.M.



QUADRO DE ESQUADRIAS					
PORTA	TIPO	AMBIENTE	JANELA	TIPO	AMBIENTE
P1 = 1,80x2,10	DUAS FOLHAS DE ABRIR	TODAS AS SALAS DE AULA	J1 = 4,00x1,50/ 0,82	CORRER - VIDRO LOW-E	SALAS DE AULA 1,2,4 E 5
P2 = 0,90x2,10	ABRIR	BANHEIROS, COPA, SALA DE APOIO E DE ESTUDOS E DML	J2 = 3,80x1,50/1,30	CORRER - VIDRO LOW-E	SALAS DE AULA 1,2,4 E 5
P3 = 1,00x2,10	CORRER- METALICA	CORREDOR EXTERNO	J3 = 3,00x0,80/ 1,00	CORRER - VIDRO LOW-E	TODAS AS SALAS DE AULA
			J4 = 3,80x0,80/1,00	CORRER - VIDRO LOW-E	TODAS AS SALAS DE AULA
			J5 = 4,50x1,50/1,30	CORRER - VIDRO LOW-E	SALAS DE AULA 3 E 6
			J6 = 3,25x1,5/0,82	CORRER - VIDRO LOW-E	SALAS DE AULA 3 E 6
			J7 = 3,00x0,60/ 1,80	BASCULA -VIDRO JATEADO	BANHEIROS
			J8 = 3,00x1,50/1,10	CORRER - VIDRO LOW-E	COPA
			J9 = 2,50x1,50/1,10	CORRER - VIDRO LOW-E	DML E SALA DE APOIO
			J10 = 2,50x1,50/1,00	CORRER - VIDRO LOW-E	SALA DE APOIO
			J11 = 3,80x1,50/1,00	CORRER - VIDRO LOW-E	SALA DE ESTUDO
			J12 = 4,00x1,50/1,00	CORRER - VIDRO LOW-E	SALA DE ESTUDO
			J13 = 3,00x0,80/1,75	CORRER - VIDRO LOW-E	SALA DE ESTUDO
			J14 = 3,80x0,80/1,75	CORRER - VIDRO LOW-E	SALA DE ESTUDO

QUADRO DE AREAS	
LDTE - 76,6m x 32m x 69,7m x 49,8m	2920m ²
OBRA	AREA m ²
PAVIMENTO TERRED	1500m ²
1º PAVIMENTO	1500m ²
2º PAVIMENTO	1500m ²
COBERTURA	922 m ²
TOTAL A CONSTRUIR	3578 m ²

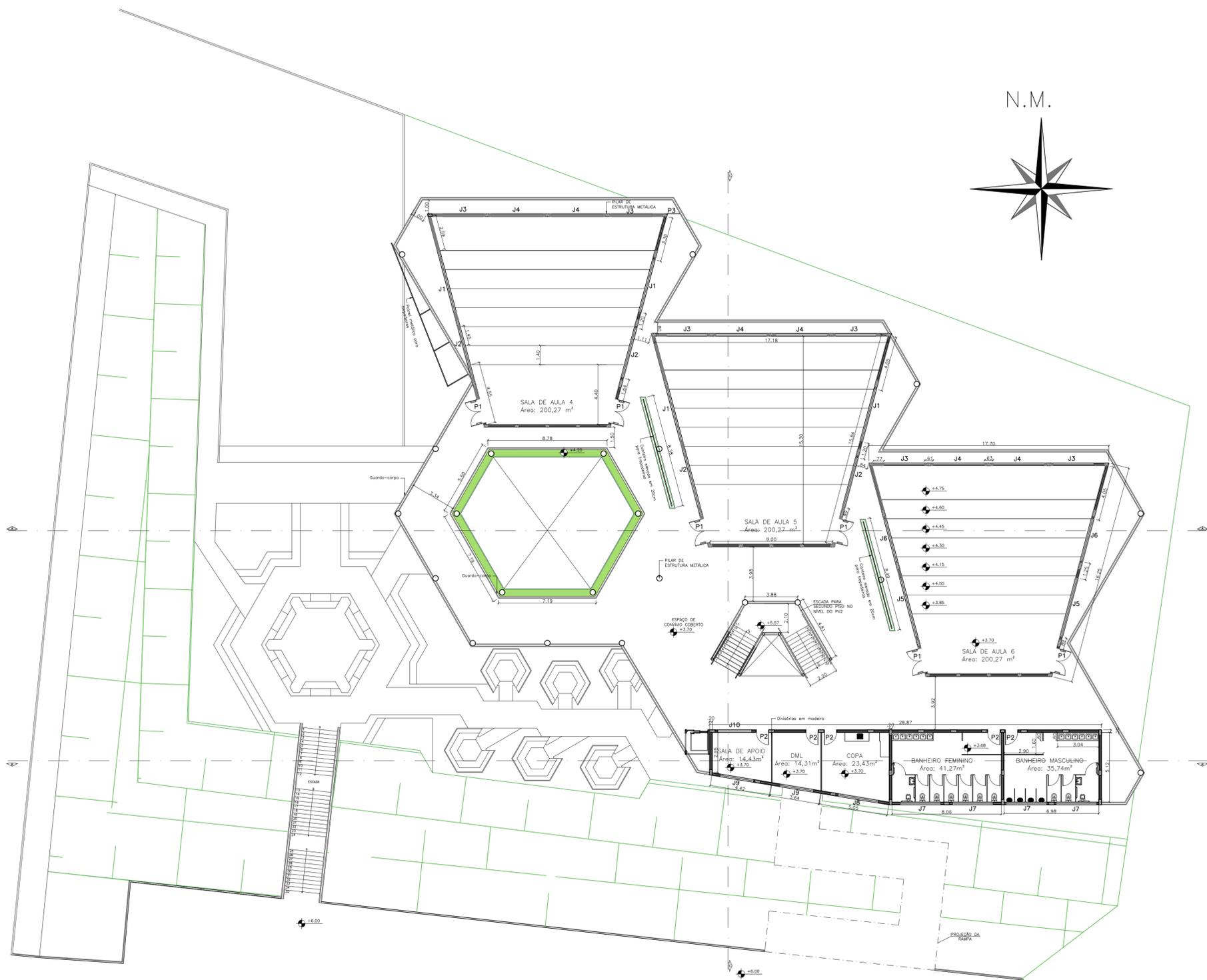


1 PLANTA BAIXA TÉRREO
ESCALA: 1:150
Área: 1500m²



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

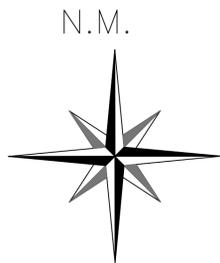
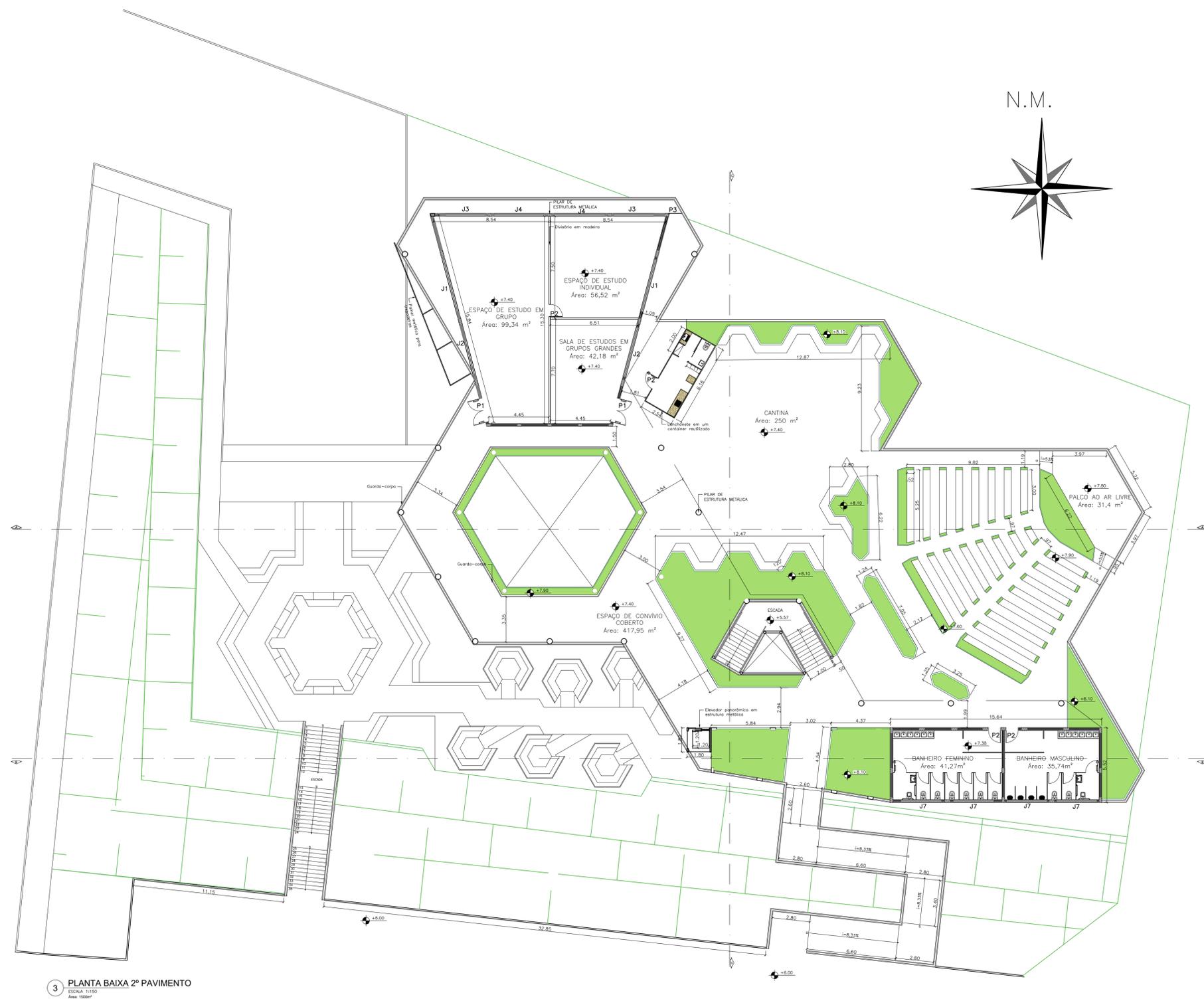
PROJETO	TÍTULO:	PROJETO EXECUTIVO TCC	
	CONTEÚDO:	PLANTA BAIXA TÉRREO	
	AUTOR:	ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA	
	DATA:	29/01/2021	REVISÃO DATA:
ESCALA:	INDICADA	ÁREA:	3578 m ²
DESENHO:	DIGITALIZAÇÃO:	ANEXO A:	16/21
RTR:	REITORIA	DESENHO N.º:	
		FOLHA:	01/06



2 PLANTA BAIXA 1º PAVIMENTO
 ESCALA 1:150
 Área: 3578 m²

TÍTULO:	PROJETO EXECUTIVO TCC	
CONTEÚDO:	PLANTA BAIXA 1º PAVIMENTO	
AUTOR:	ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA	

DATA:	29/01/2021	REVISÃO DATA:	29/01/2021	ANEXO A:	17/21
ESCALA:	INDICADA	ÁREA:	3578 m²	DESENHO N.º:	
DESENHO:		DIGITALIZAÇÃO:		FOLHA:	02/06
RTR:	REITORIA				

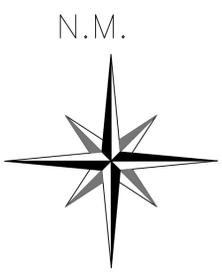
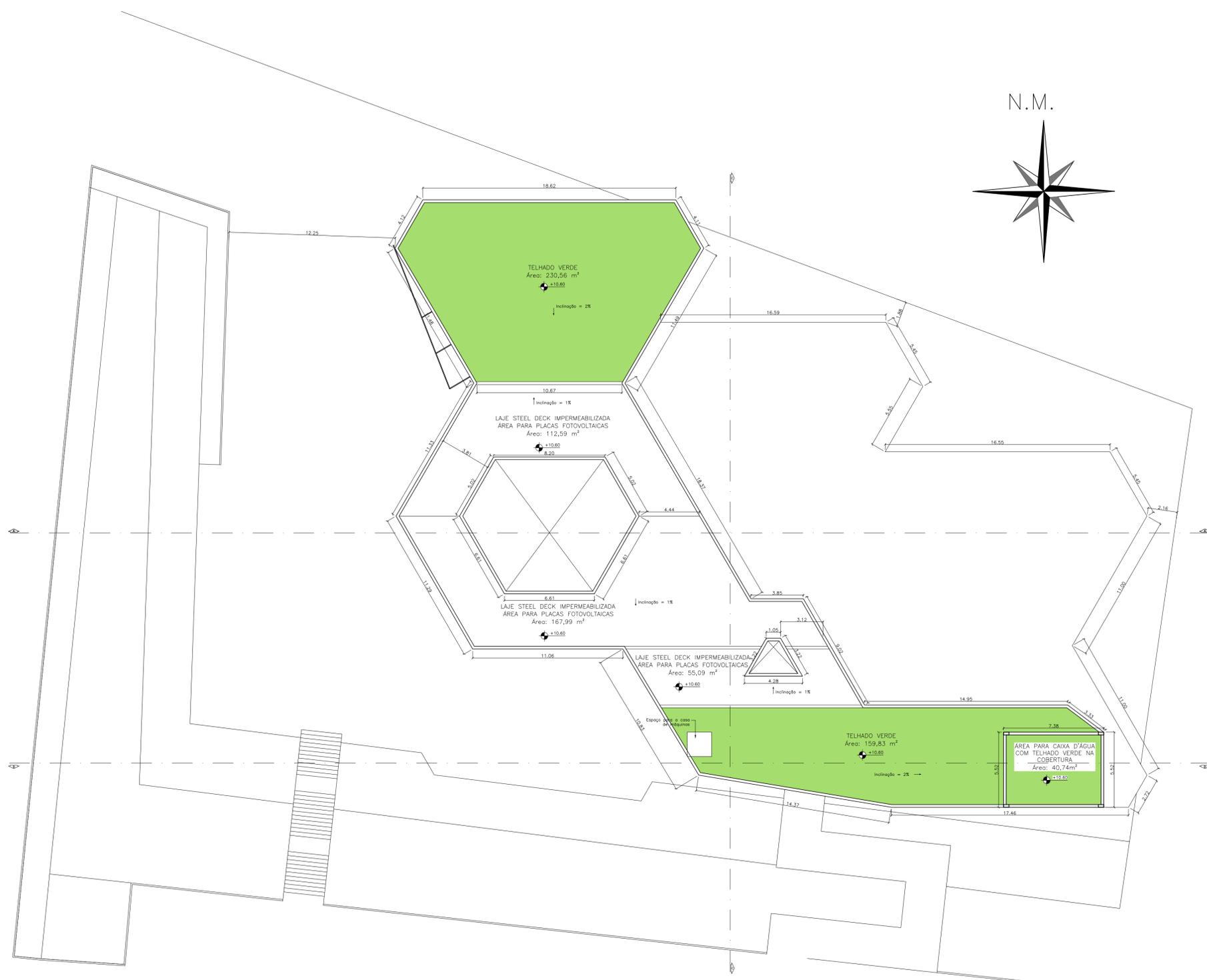


3 PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO
ESCALA 1:150
Área: 1803m²



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

PROJETO	TÍTULO:	PROJETO EXECUTIVO TCC	
	CONTEÚDO:	PLANTA BAIXA 2º PAVIMENTO	
	AUTOR:	ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA	
	DATA:	29/01/2021	REVISÃO DATA:
ESCALA:	INDICADA	ÁREA:	3578 m²
DESENHO:	DIGITALIZAÇÃO:	ANEXO A:	18/21
RTR:	REITORIA	DESENHO N.º:	
		FOLHA:	03/06

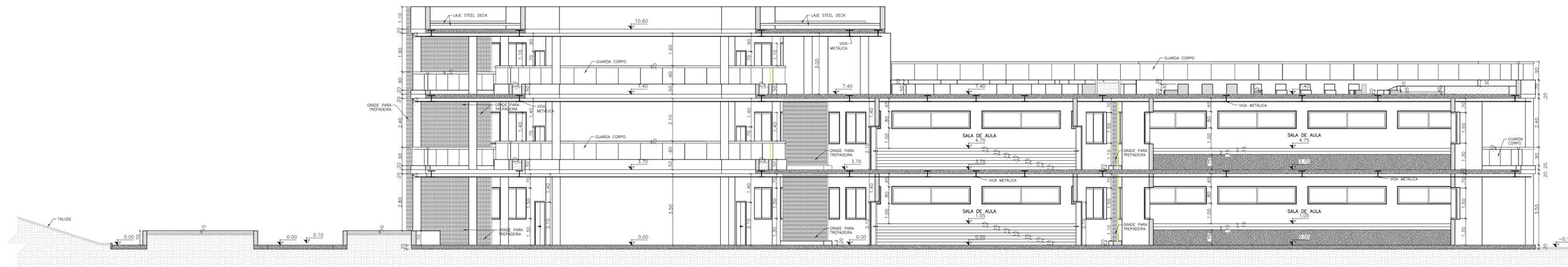


4 PLANTA DE COBERTURA 1
 ESCALA 1:150
 Área: 3578 m²

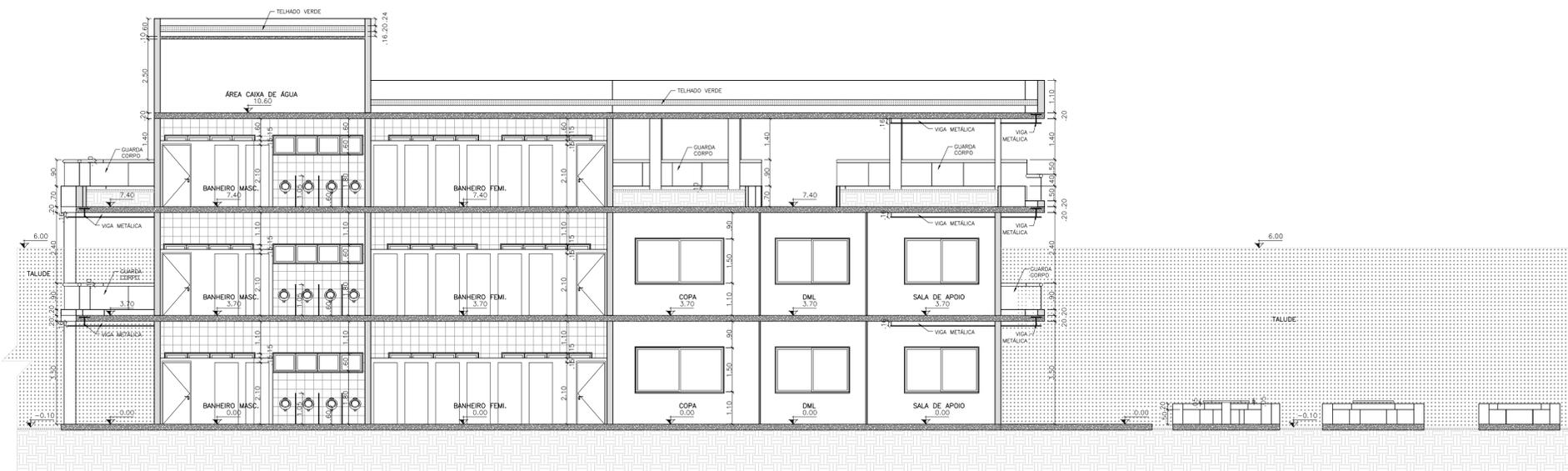


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

PROJETO	TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO TCC		
	CONTEÚDO: PLANTA DE COBERTURA 1		
	AUTOR: ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA		
	DATA: 29/01/2021	REVISÃO DATA: 29/01/2021	ANEXO A: 19/21
	ESCALA: INDICADA	ÁREA: 3578 m²	DESENHO N.º: 04/06
DESENHO: DIGITALIZAÇÃO:			
RTR: REITORIA			



CORTE AA
esc 1:100

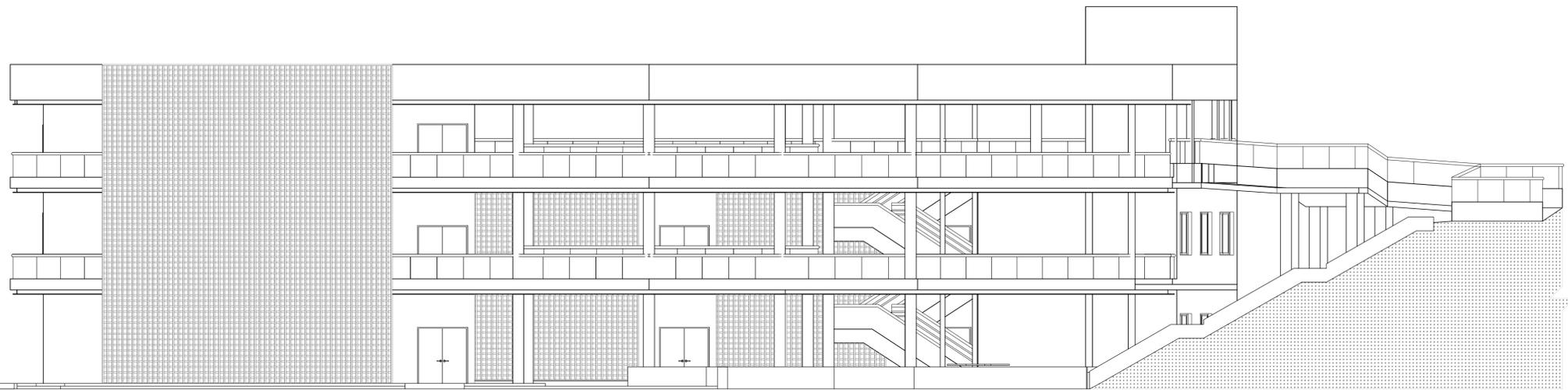


CORTE BB
esc 1:100

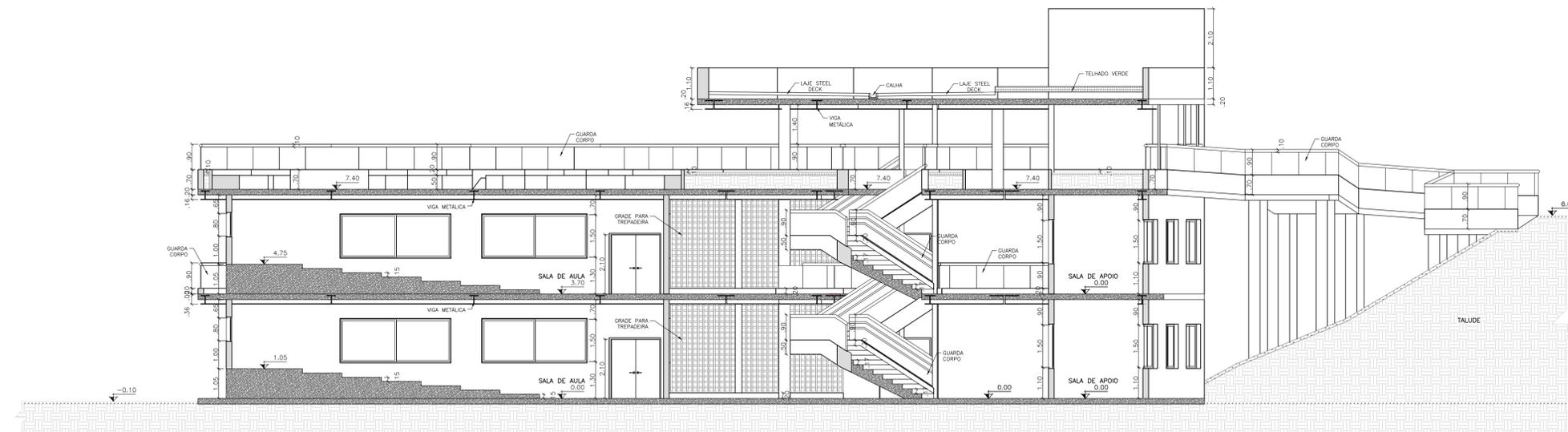


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

PROJETO	TÍTULO:		
	PROJETO EXECUTIVO TCC		
	CONTEÚDO:		
	CORTE AA E CORTE BB		
	AUTOR:		
ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA			
DATA:	REVISÃO DATA:	ANEXO A:	
29/01/2021	29/01/2021	20/21	
ESCALA:	ÁREA:	DESENHO N.º:	
INDICADA	3578 m²		
DESENHO:	DIGITALIZAÇÃO:	FOLHA:	
		05/06	
RTR:	REITORIA		



FACHADA
esc: 1:100



CORTE CC
esc: 1:100



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

PROJETO	TÍTULO:		
	PROJETO EXECUTIVO TCC		
	CONTEÚDO:		
	CORTE CC E FACHADA		
	AUTOR:		
ISABELLA PULHEZ CARDOSO DE BARROS MAYLLA MATTIOLI LIMA			
DATA:	REVISÃO DATA:	ANEXO A:	
29/01/2021	29/01/2021	21/21	
ESCALA:	ÁREA:	DESENHO N.º	
INDICADA	3578 m ²		
DESENHO:	DIGITALIZAÇÃO:	FOLHA:	
		06/06	
RTR:	REITORIA		