

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura – Dep. Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo
Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos

Maria Stella Campos do Amaral Rennó Alckmin

**Análise da viabilidade do emprego da taipa de pilão para a execução de
edificações no sul de Minas Gerais**

Belo Horizonte

2024

Maria Stella Campos do Amaral Rennó Alckmin

Análise da viabilidade do emprego da taipa de pilão para a execução de edificações no sul de Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Área de Concentração: Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos

Área do Conhecimento: Ciências Sociais Aplicadas

Orientadora: Sofia Araújo Lima Bessa

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DO TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA *MARIA STELLA CAMPOS DO AMARAL RENNÓ ALCKMIN* COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.

Às 15:30 horas do dia 19 de junho de 2024, reuniu-se de forma online pelo aplicativo Google Meet, a Comissão Examinadora composta pela Profa. Dra. Sofia Araújo Lima Bessa, Orientadora-Presidente, e pela Profa. Dra. Talita Caroline Miranda, membro titular externo, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada “**Análise da viabilidade do emprego da taipa de pilão para a execução de edificações no sul de Minas Gerais**” de autoria da aluna *MARIA STELLA CAMPOS DO AMARAL RENNÓ ALCKMIN*, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que seja encaminhado 01 (um) exemplar digital para o Repositório da UFMG.

Belo Horizonte, 19 de junho de 2024

Profa. Dra. Sofia Araújo Lima Bessa
Orientadora-Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br SOFIA ARAUJO LIMA BESSA
Data: 23/06/2024 11:23:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Talita Caroline Miranda
Membro Titular Externo

Documento assinado digitalmente
gov.br TALITA CAROLINE MIRANDA
Data: 20/06/2024 11:15:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicatória: Ao meu esposo, Raoní, por estar sempre comigo, com amor e dedicação. Ao meu filho, Carlos Alberto, por me apresentar o amor imensurável. A minha mãe, Maria Christina, por acreditar em mim e me apoiar na realização dos meus sonhos. Ao meu pai, Carlos Alberto (*in memoriam*), por me conceder a força do mundo. Ao meu irmão mais velho, João Franciso, pela sua cumplicidade. A todos meus ancestrais. Eu honro vocês.

AGRADECIMENTOS

A minha família. Agradeço, em especial, a minha família, pelo reconhecimento e apoio incondicional ao meu trabalho. Ao meu esposo Raoní, ao meu filho Carlos Alberto, a minha mãe Maria Christina, ao meu pai Carlos Alberto (*in memoriam*) e ao meu irmão João Francisco.

Aos meus amigos. Agradeço a todos meus amigos, que estão sempre ao meu lado para dividirmos as nossas felicidades, as nossas preocupações e os nossos aprendizados.

A minha orientadora. Agradeço a Sofia Araújo Lima Bessa, pela sua paciência, respeito, atenção e por compartilhar seu vasto conhecimento do tema. Sem a sua orientação esse trabalho não teria a mesma qualidade.

As pessoas que encontrei pelo caminho da universidade e ao ensino público de qualidade.

Agradeço aos meus colegas, aos professores, todos que direta ou indiretamente estão ligados aos laboratórios utilizados e à Universidade Federal de Minas Gerais. Em especial, a Talita Caroline Miranda, por agregar com seu conhecimento técnico e intelectual, em especial, nas análises laboratoriais, a Jhade Iane Cunha Vimieiro e ao Marcus Vinícius dos Reis Torres de Oliveira, que muitas vezes me ajudaram nos testes laboratoriais.

A Terra. Agradeço por seus ensinamentos, por ampliar meu olhar para a conexão com o TODO e comigo mesma.

A todos que de alguma forma fizeram, e ainda fazem, parte desse processo.

Sou uma filha da natureza: quero pegar, sentir, tocar, ser. E tudo isso já faz parte de um todo, de um mistério. Sou uma só. (...) Sou um ser. E deixo que você seja. Isso lhe assusta? Creio que sim. Mas vale a pena. Mesmo que doa. Dói só no começo.

(LISPECTOR, Clarice. A descoberta do mundo.
Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1984, p.542).

RESUMO

As governanças públicas estão buscando cada dia mais um ecossistema estável e sustentável, usando como referência o conceito de “Cidade Inteligente”. Santa Rita do Sapucaí é uma cidade localizada no sul de Minas Gerais, próxima a grandes polos econômicos do Brasil, com população estimada em 44.000 pessoas, e objetiva se tornar uma cidade inteligente, estando concentrada hoje nos eixos de Tecnologia e Inovação, Educação e Empreendedorismo. Ações de incentivo para a disseminação de construções de menor impacto ambiental tornam-se opções viáveis para a transformação da infraestrutura da cidade. Historicamente, há construções de terra por todo o estado de Minas Gerais, principalmente as técnicas de pau-a-pique, adobe e taipa de pilão. Sendo muitas vezes utilizadas de forma mista com grande potencial sustentável, quando incorporada a novas tecnologias e materiais. O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade da técnica de taipa de pilão para a execução de edificações no sul de Minas Gerais, mais especificamente em Santa Rita do Sapucaí – MG, tendo como cenário a transformação da cidade em uma cidade inteligente. Com o solo extraído do Município, o mesmo caracterizado, analisado e corrigido. Com grande quantidade de materiais finos, a correção granulométrica foi realizada misturando areia média na proporção 2:1. Obtendo valores superiores aos parâmetros técnicos de resistência à compressão simples, não foi adicionado cimento nas amostras, reduzindo a energia incorporada. Pôde-se concluir que diante dos critérios adotados, há indicativos positivos aplicáveis para a viabilidade da técnica de taipa de pilão, se apresentando como uma das possibilidades de construção de menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Menor impacto ambiental; Construção com terra; Taipa de Pilão; Cidades inteligentes brasileiras.

ABSTRACT

The public governance is striving for a stable and sustainable ecosystem, based on the concept of a “Smart City”. In the south of Minas Gerais, there is the city of Santa Rita do Sapucaí. It is located close to major economic hubs in Brazil, has an estimated population of 44.000 people, and aims to become a smart city. This city currently focuses on the development of these axes: Technology and Innovation, Education, and Entrepreneurship. The government developing incentive actions for the dissemination of constructions with a lower environmental impact, making them viable options for improving the city's infrastructure. Historically, there are earthen constructions throughout the state of Minas Gerais, mainly the wattle and daub, adobe and rammed earth techniques. These techniques are usually used in a mixed way, with great sustainable potential when incorporated with new technologies and materials. This research aimed to analyze the practicability of the rammed earth technique for the construction of buildings in the south of Minas Gerais, more specifically in Santa Rita do Sapucaí – MG, and its transformation into a smart city. The soil was extracted from the designated area, characterized, analyzed and corrected. Particle size distribution correction was performed with medium sand, due to the large number of fine materials present in the sample. No cement was added to the samples, which reduces embodied carbon. This was possible because the results obtained exceeded the technical resistance parameters of rammed earth. In conclusion, there are positive indications for the viability of the rammed earth technique as one of the construction possibilities to reduce environmental impact.

Keywords: Less Environmental Impact; Earthen Construction; Rammed Earth; Brazilian smart cities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Framework executado na ferramenta Coogle.it.	17
Figura 2 –	Distribuição da arquitetura de terra no mundo.	18
Figura 3 –	Construção em taipa de pilão, Weilburg, Alemanha.	19
Figura 4 –	Construção em taipa de pilão com reforço de madeira.	20
Figura 5 –	Construção em taipa de pilão, São Paulo, Brasil.	20
Figura 6 –	Planta baixa da casa Caxingui construída no período colonial.	21
Figura 7 –	Fachada frontal e lateral na década de 60 da Igreja de Nossa Senhora do Pilar, Ouro Preto, Minas Gerais.	22
Figura 8 –	Detalhe construtivo da ancoragem independente da taipa de pilão.	25
Figura 9 –	Casa Colinas (2014), Piracicaba, São Paulo.	26
Figura 10 –	Diagrama de técnicas de construção que utilizam a terra como matéria-prima.	27
Figura 11 –	Diagrama de produção em um canteiro de obra de taipa de pilão.	28
Figura 12 –	Compactadores.	30
Figura 13 –	Proteção das paredes contra erosão.	32
Figura 14 –	Estado do solo, em função de seu teor de umidade.	34
Figura 15 –	Diagrama de classificação dos solos, pelo teste do vidro.	35
Figura 16 –	Diagramas indicativos de uso da terra, pelo teste do vidro.	35
Figura 17 –	Seleção do Solo.	36
Figura 18 –	Localização de Santa Rita do Sapucaí em Minas Gerais.	38
Figura 19 –	Mapa de solos do estado de Minas Gerais.	39
Figura 20 –	Mapas referenciando o local de coleta do solo realizado na ferramenta GEarth, sem escala.	45
Figura 21 –	Destorroamento do solo.	46

Figura 22 –	Béqueres com defloculantes.	48
Figura 23 –	Análise granulométrica por sedimentação.	48
Figura 24 –	Análise granulométrica por peneiramento fino.	48
Figura 25 –	Material retido lavado no peneiramento grosso.	48
Figura 26 –	Análise granulométrica por peneiramento grosso.	49
Figura 27 –	Determinação do LL.	49
Figura 28 –	Determinação do LL.	49
Figura 29 –	Determinação do LP.	49
Figura 30 –	Determinação do LP.	49
Figura 31 –	Bomba capaz de aplicar vácuo para a massa específica dos sólidos.	50
Figura 32 –	Preparo dos corpos de prova para o ensaio de compactação.	51
Figura 33 –	Amostras retiradas dos cinco corpos de prova do ensaio de compactação.	51
Figura 34 –	Preparo dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão.	52
Figura 35 –	Emprego do extrator para o ensaio de resistência à compressão.	52
Figura 36 –	Corpos de prova cilíndricos (T1) para o ensaio de resistência a compressão com ruptura aos 28 dias.	53
Figura 37 –	Corpos de prova cilíndricos (T0) para o ensaio de resistência a compressão com ruptura aos 28 dias.	53
Figura 38 –	Análise granulométrica T0.	54
Figura 39 –	Análise granulométrica T1.	55
Figura 40 –	Curva de compactação T0.	56
Figura 41 –	Curva de compactação T1.	57
Figura 42 –	Rompimento do corpo de prova.	58
Figura 43 –	Rompimento do corpo de prova.	58

Figura 44 –	Rompimento do corpo de prova.	59
Figura 45 –	Rompimento do corpo de prova.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação dos solos, em função dos IP e LL.	34
Tabela 2 –	CSC (2022).	44
Tabela 3 –	Proporção dos materiais usados.	47
Tabela 4 –	Análise granulométrica por peneiramento das amostras.	55
Tabela 5 –	Ensaio de caracterização do solo.	56
Tabela 6 –	Massa específica seca das amostras.	58
Tabela 7 –	Média de resistência à compressão das amostras.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSI	British Standards Institution
CRATerre	Centre International de la Construction en Terre
CCCCF	Cidade Criativa, Cidade Feliz
CSC	Ranking Connected Smart Cities
ETE “FMC”	Escola Técnica em Eletrônica “Francisco Moreira da Costa”
FAI	Faculdade de Administração e Informática
FIG.	Figura/figuras
GC	Grau de Compactação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDSC – BR	Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil
INATEL	Instituto Nacional de Telecomunicações
IoT	Internet das Coisas
IP	Índice de Plasticidade
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
LR	Limite de Retração
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PROINTEC	Programa Municipal de Inovação de Santa Rita do Sapucaí
SDSN	Sustainable Development Solutions Network
Seapa	Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SPHAN	Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
1.1	Objetivos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1.	Aspectos Históricos da Taipa de Pilão no Brasil.....	18
2.2.	Taipa de Pilão na Atualidade Brasileira.....	23
2.2.1.	Sistema Construtivo Em Taipa De Pilão.....	26
2.2.2.	Características do Solo para Construção com Taipa de Pilão.....	33
3	SANTA RITA DO SAPUCAÍ.....	37
3.1.	Cidades Inteligentes Brasileiras.....	42
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1	Materiais.....	44
4.2	Métodos.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
6.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	61
	REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Santa Rita do Sapucaí está localizada no sul de Minas Gerais, próximo a grandes polos econômicos do Brasil - a 200Km de São Paulo/SP, a 350km do Rio de Janeiro/RJ e a 400Km de Belo Horizonte/MG.

Historicamente, o município apresenta ações singulares, reconhecidas nacionalmente e internacionalmente, como a implantação da primeira Escola Técnica de Eletrônica da América Latina, o desenvolvimento da tecnologia 5G, a implantação de duas usinas solares, a realização de três pontos para o abastecimento de carro elétrico, a realização do principal festival de inovação e criatividade da América Latina e de quase 10 anos do movimento “Cidade Criativa, Cidade Feliz” (CCCF). Esta ação tem como meta a felicidade baseada em quatro pilares: a tecnologia, o empreendedorismo, a arte e a cultura, e a ética e a cidadania, e mais recentemente, a participação no projeto “Criar Pontes”.

A cidade formalizou parcerias com Tiradentes-MG e com Silvianópolis-MG, utilizando o conceito de “Cidades Irmãs”, visando estreitar as relações e a cooperação município a fora, além de promover mais intercâmbios nas áreas de patrimônio histórico, material e imaterial, artesanato, cultura, turismo, gastronomia, hotelaria, tecnologia, inovação e economia criativa. Por fim, o município também foi classificado como finalista na categoria Inovação e Sustentabilidade da etapa estadual da XI Edição do Prêmio Sebrae Prefeito Empreendedor.

As cidades inteligentes são uma tendência e Santa Rita do Sapucaí caminha para se tornar uma. O empenho do setor público e do setor privado são visíveis para que a cidade se torne uma referência no Brasil.

Apesar dos esforços para enfrentar os dilemas do mundo contemporâneo, a Carta Brasileira Cidades Inteligentes (Ministério das Cidades, 2023) declara que uma cidade inteligente deve ser também ambientalmente responsável, fazendo uso eficiente dos recursos naturais, visando a conservação ambiental, a saúde e o bem-estar das pessoas. A ONU ainda apresenta os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) na agenda 2030, sendo o Objetivo 11 “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”.

Nesse contexto, para que o desenvolvimento sustentável aconteça, os governos locais devem se desenvolver sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.

A demanda crescente de habitações e construções em todo o mundo resulta no consumo de quantidades significativas dos recursos naturais na forma de materiais de construção. Essa exploração tem levado a situações de escassez e a busca pela mudança em direção ao desenvolvimento sustentável. As construções com terra podem otimizar o uso de recursos, além de minimizar a pegada de carbono (KARIYAWASAM e JAYASINGHE, 2016).

Em Santa Rita do Sapucaí, até o presente momento, não há investimentos relevantes ou ações para o incentivo e disseminação de construções com menor impacto ambiental, mesmo com o desenvolvimento de várias técnicas que podem ser vistas como alternativas viáveis, como a taipa de pilão.

A sustentabilidade da construção com terra se faz presente desde a sua concepção até o uso da edificação. Sendo muito comum em Minas Gerais, principalmente as técnicas de pau-a-pique, adobe e taipa de pilão, onde muitas vezes coexistem em uma mesma edificação, são consideradas opções viáveis para a região. E ainda sofrendo influências de São Paulo, a capital com maior proximidade de Santa Rita do Sapucaí, que apresenta um histórico com a técnica de construção com terra de taipa de pilão (MARANHO, 2022).

A taipa de pilão, é uma técnica construtiva milenar, com demanda crescente na arquitetura contemporânea, boa inércia térmica, bom isolamento termoacústico, socialmente viável e de menor impacto ambiental, com a possibilidade de combinação com outras técnicas, convencionais e não convencionais (STEENBOCK et al., 2022). Partindo da premissa que em Santa Rita do Sapucaí não tem mestres da construção com terra, artesões e oleiros, como em outras regiões do estado de Minas Gerais, essa técnica também permite uma qualidade executiva pela sua mecanização, utilizando equipamentos do mercado convencional e pelo treinamento de mão de obra no canteiro de obras com referências da construção convencional.

Assim, o presente trabalho é direcionado para o desenvolvimento de um estudo sobre o comportamento da terra do bairro Vintém para a execução da técnica de taipa de pilão. A proximidade do bairro com o principal centro urbano do município, cerca de cinco quilômetros, o contínuo crescimento de suas edificações horizontais, em sua maioria com ampla área de terreno disponível, e a abundância da terra, são fatores que foram diferenciais para a escolha do local.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o solo de Santa Rita do Sapucaí – MG para a produção da taipa de pilão como uma das possibilidades de construção de menor impacto ambiental.

Os objetivos específicos, dessa forma, são:

- a. Analisar as características do solo da cidade e a sua viabilidade na produção de taipa;
- b. Analisar a necessidade de estabilização das misturas produzidas com o solo de Santa Rita do Sapucaí;
- c. Analisar as misturas para a taipa em relação à resistência mecânica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os temas abordados nesse capítulo terão início com a história da técnica de taipa de pilão no Brasil, principalmente em Minas Gerais, alcançando os dias de hoje, com a incorporação de novas tecnologias e materiais, demonstrando seus aspectos construtivos e a importância da caracterização do solo a ser trabalhado.

Posteriormente, haverá um histórico sobre o município de Santa Rita do Sapucaí e a inserção do que são e quem são as cidades inteligentes brasileiras e por que são cidades referências para outras. Por fim, a viabilidade e o potencial sustentável da técnica de construção com terra criam uma ponte acessível entre a sustentabilidade e o objetivo de Santa Rita do Sapucaí, MG, em se tornar uma cidade inteligente.

A **Figura 1**, apresenta a estrutura visual desse estudo, tendo como base: o menor impacto ambiental, a construção civil e o Município de Santa Rita do Sapucaí, e sendo desenvolvido por etapas, sendo: a revisão bibliográfica, o histórico de Santa Rita do Sapucaí, o estudo das cidades inteligentes brasileiras, os materiais e os métodos utilizados, os resultados e as considerações finais.

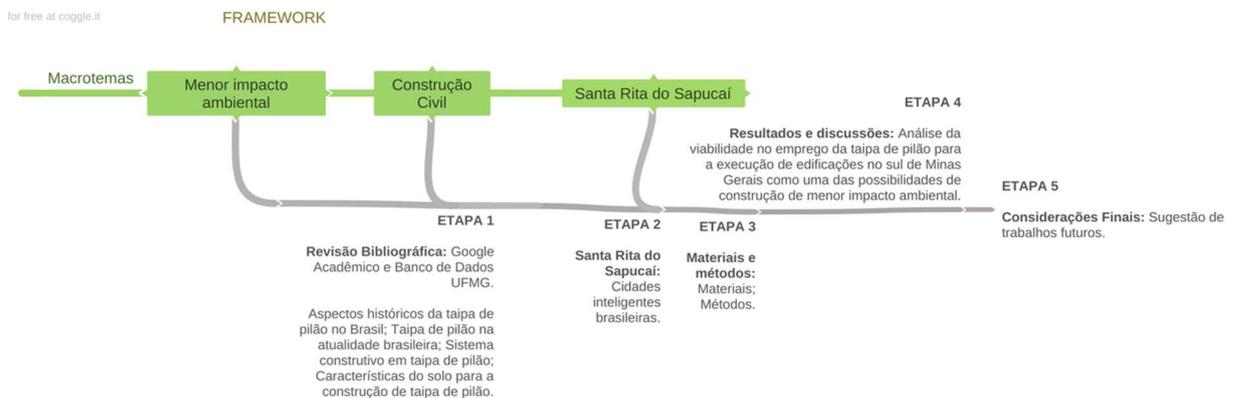


Fig. 1 – Framework executado na ferramenta Coggle.it.

Fonte: Autora (2023).

2.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DA TAIPA DE PILÃO NO BRASIL

A terra tem sido usada como material de construção em todas as culturas antigas, não apenas para casas, mas também para construções religiosas. As técnicas de construção com terra têm sido conhecidas há mais de 9.000 anos. As fundações de taipa de pilão foram descobertas na Assíria há 5.000 a.C (MINKE, 2006).

A Grande Muralha da China com 4.000 anos, foi originalmente construída unicamente em taipa de pilão, sendo apenas mais tarde coberta com pedras e tijolos, dando uma aparência de um muro de pedra. A Pirâmide do Sol da cidade de Teotihuacan no México, construída entre os anos 300 e 900 d.C., tem seu núcleo formado com aproximadamente 2 milhões de toneladas de taipa de pilão (MINKE, 2006). Esses são exemplos de construções grandiosas e que resistiram ao longo do tempo, sendo a técnica de taipa de pilão muito conhecida no mundo.

Na França, a técnica de taipa de pilão é chamada *terre pisé* e foi difundida entre os séculos XV e XIX, tendo vários edifícios com mais de 300 anos que ainda são habitados. François Cointeraux e David Gilly publicaram livros sobre a técnica e suas vantagens, tornando-a conhecida em toda a Alemanha e em países vizinhos (MINKE, 2006).

A **Fig. 2**, indica como é a distribuição no mundo de construção com terra de acordo com o *Centre International de la Construction en Terre* (CRAterre). No Brasil, Minas Gerais une-se aos estados litorâneos como localização usual para essas construções.

ARCHITECTURE DE TERRE DANS LE MONDE



Fig. 2 – Distribuição da arquitetura de terra no mundo.

Fonte: CRAterre (2022).

Na Alemanha, a casa mais antiga habitada de taipa de pilão foi construída com a alegação de que seria mais economicamente viável pela sua capacidade de resistência ao fogo.

A **Fig. 3** mostra a casa mais alta da Europa em taipa de pilão, com paredes de 40 a 75cm de espessura, concluída em 1828, em Weilburg, onde existem casas com vários andares feitas dessa técnica (MINKE, 2006).



Fig. 3 – Construção em taipa de pilão, Weilburg, Alemanha.
Fonte: MINKE (2006).

No México, na América Central e na América do Sul a técnica de taipa de pilão era conhecida em muitos lugares, enquanto os conquistadores espanhóis levaram a outros (MINKE, 2006).

No Brasil, a técnica de taipa de pilão foi muito utilizada em residências, igrejas, casas de câmara, cadeias e para a defesa em geral. Barreto (1947) a define sendo uma construção de terra, de preferência úmida, apiloada com ferramentas e com os pés entre taipais de madeira previamente preparados, que após a retirada dos taipais e sua cura formam paredes monolíticas. Para boa execução da técnica, o cuidado com o contato com a água, com o correto apiloamento e com os taipais, que pela sua importância eram, pelas Câmaras, arrecadados em penhor.

A **Fig. 4** apresenta a técnica reforçada com engradamento de madeira na sua espessura ou em face interna, revestido as paredes de taipa de 50 cm de espessura, seguindo o princípio que orientava a construção das cadeias: a “segurança dos presos” (BARRETO, 1947).

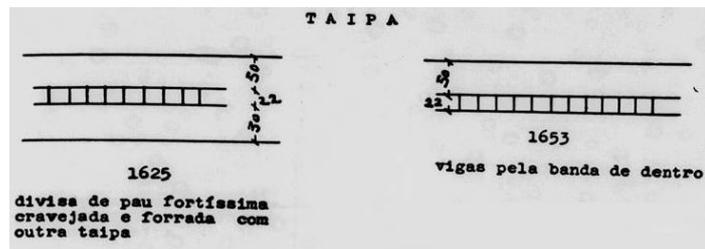


Fig. 4 – Construção em taipa de pilão com reforço de madeira.
Fonte: BARRETO (1947).

A **Fig. 5** apresenta uma construção de taipa de pilão de 250 anos no estado de São Paulo, que era um dos principais métodos construtivos com terra empregadas durante o período colonial. Foi muito utilizado em quase todas as regiões coloniais e, especialmente, em São Paulo, onde a pedra e a cal constituíam materiais raros (MARANHO, 2022).



Fig. 5 – Construção em taipa de pilão, São Paulo, Brasil.
Fonte: MINKE (2006).

Observando a **Fig. 6**, a casa Caxingui construída em meados do século XVIII em taipa de pilão, apresenta semelhanças nas características das construções em taipa da época, como: plantas retangulares; salas centrais; alvenaria de embasamento; espessura das paredes em torno de 50 a 60 cm; paredes construídas por meio de taipais de aproximadamente 4,00 m de comprimento, 1,00 m de altura e 5 cm de espessura; grandes beirais, existência de alpendre; telhado de quatro águas com dupla inclinação (KATINSKY, 1972).

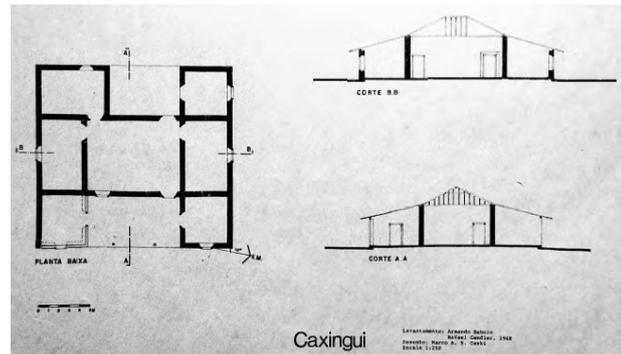


Fig. 6 – Planta baixa da casa Caxingui construída no período colonial.
Fonte: KATINSKY (1972).

A taipa de pilão pode ser considerada uma solução arquitetônica típica usada pelos fazendeiros mais abastados do século XVII, naquela região. Esse tipo de construção multiplicou-se pelas áreas rurais de São Paulo e arredores desde o século XVII até o final do século XIX, mas o uso da terra em si predominou na região de São Paulo até as primeiras décadas do século XX em áreas interioranas (KATINSKY, 1972).

Em Minas Gerais, as técnicas mais comuns eram de pau-a-pique e do adobe, mas por influência da arquitetura rural paulista, que também influenciou através das proporções, a taipa de pilão foi adotada em Minas Gerais, muitas vezes coexistindo com outras (MARANHO, 2022). No estado, há a catalogação de vinte e nove igrejas em taipa de pilão, sendo que grande parte desse acervo apresenta sistema construtivo misto (KANAN, 2022).

Nas cidades mineiras, a técnica demonstrou seu maior uso quando se fez presente em um sistema construtivo misto. As características naturais do relevo, com terrenos mais acidentados, e os locais com maior índice pluviométrico, dificultaram sua implantação, uma vez que são vulneráveis à umidade e melhor se adaptam a climas secos. Rezende (2012) comprova a ausência de análise dos solos para as construções da época, muitas vezes argilosos, resultando em manifestações patológicas, com a ausência de correção do solo para a execução da técnica.

Na **Fig. 7**, pode-se observar a Igreja de Nossa Senhora do Pilar, localizada em Ouro Preto, Minas Gerais, apresentando técnicas coexistentes, cuja parede exterior é de alvenaria de pedra, a dos fundos de taipa de pilão e a que recebe os retábulos de esteios e madeira com enchimento de adobe (MARANHO, 2022).



Fig. 7 – Fachada frontal e lateral na década de 60 da Igreja de Nossa Senhora do Pilar, Ouro Preto, Minas Gerais.
Fonte: COSTA (2016).

Há variações da composição da taipa de pilão, como o chamado formigão, que tem o uso de pedras pequenas até pedras de mão, sem o peneiramento da terra, formando um conglomerado à feição do concreto, utilizado em Diamantina, Minas Gerais (VASCONCELLOS, 1979). Outra variação é a chamada encamisamento, com a adição de reforços de tijolos cerâmicos nas paredes de taipa de pilão (MARANHÃO, 2022).

No entanto, com o auge da economia cafeeira, influência do estilo de vida europeu, enriquecimento dos fazendeiros mineiros, o que incluiu na arquitetura das fazendas de café itens sofisticados e importados, e a chegada de novos materiais e técnicas, a taipa de pilão foi sendo substituída, pelos tijolos, que eram produzidos de forma massiva nas olarias, pelo cimento, entre outros, o que levou ao esquecimento desse conhecimento e evidenciou o uso precário da terra em regiões marcadas pela ausência de recursos (MARANHÃO, 2022).

O resgate do conhecimento de técnicas com terra começou a ser promovido pelos técnicos do então Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN) após 1936, até os dias de hoje, com a atuação na restauração arquitetônica do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Com as demandas do mundo contemporâneo para um menor impacto ambiental, os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU para serem atingidos até 2030 e a transformação das cidades em cidades inteligentes, a terra tem retornado como protagonista de novas formas de construir, como um “saber fazer” que continua a ser resgatado ao mesmo tempo em que se transforma (MARANHÃO, 2022) e tem crescido a atenção do setor da construção na taipa de pilão, como uma técnica de construção sustentável (ÁVILA et al., 2021).

2.2. TAIPA DE PILÃO NA ATUALIDADE BRASILEIRA

Ao mesmo tempo que a “tecnologia do cimento” trouxe um progresso no segmento da construção mundial, também desencadeou uma série de danos ambientais. Em contrapartida, a terra, esquecida após a Revolução Industrial, destaca-se entre os materiais de construção de mínimo impacto ambiental e máxima sustentabilidade (CORRÊA et al., 2012).

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2022), a construção civil, por ser uma atividade de transformação, se caracteriza como um dos setores que mais consomem recursos naturais e geram grandes quantidades de resíduos, desde a produção dos insumos utilizados, até a execução da obra e a sua utilização. Por essa razão, possui grande potencial de redução de impactos com a adoção de práticas de conservação e uso racional.

A produção de arquitetura com terra tem crescido significativamente no Brasil nos últimos anos devido a diversos fatores, relacionados com questões de ordem ambiental e/ou à revalorização das culturas tradicionais (AMARAL et al., 2021), como:

- (i) a criação dos sistemas de certificação de aspectos de sustentabilidade relacionados à construção civil, no âmbito nacional e internacional, (ii) o desenvolvimento de instrumentos normativos ligados ao controle dos impactos ambientais da construção civil, (iii) os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos em 2016, na Conferência Habitat III da ONU Habitat, (iv) as conquistas no cenário nacional e global quanto ao reconhecimento da cultura e dos direitos dos povos tradicionais, e (v) a ampliação da extensão universitária e sua consolidação como componente curricular (AMARAL et al., 2021).

Há um “saber fazer” ligado à Arte de Construir, fruto do acúmulo de experiências e do esforço sucessivo de gerações passadas de técnicos e artesãos, de forma a que aos tradicionais valores estéticos, históricos, arquitetônicos, urbanísticos do monumento, seja também acrescentado um valor tecnológico (BRAGA, 2003). O “saber fazer” específico da arquitetura com terra utiliza materiais e técnicas de um determinado local (NEVES et al., 2022).

Além disso, em comparação com os materiais de construção correntes (industrializados), Minke (2006) faz citação de algumas vantagens da construção com terra, dentre elas:

(a) controle da umidade do ar pela absorção e liberação, mantém um ambiente interno controlado sem perder estabilidade estrutural e contribui para a saúde de seus usuários;

(b) troca de calor com o ambiente, armazena calor adquirido de forma passiva, evita grandes oscilações de temperatura e contribui para economia no uso de sistemas de calefação e/ou ar-condicionado;

(c) poupa energia na produção, no transporte e no manuseamento, se trabalhado com material local e contribui para a redução da poluição ambiental;

(d) reutiliza o material total após sua demolição, contribui para a redução de resíduos de construção e demolição;

(e) escava *in loco* o principal utilizado, contribui para a redução do uso de materiais com impacto negativo e nos custos de material e transporte;

(f) autonomia no processo construtivo, contribui para o aumento da igualdade social;

(g) preservação natural de outros materiais orgânicos, como a madeira e a palha, contribui para a capacidade protetora do elemento;

(h) absorve contaminantes dissolvidos em água, contribui para pureza da água.

Hoffmann et al. (2011) apresentam vantagens da técnica taipa de pilão, que quando bem empregada, tem baixo consumo de energia no processo de produção, pode não necessitar de transporte de matéria-prima e é reciclável – quando demolidas as paredes voltam quase totalmente à condição original de solo. Possui adequada inércia térmica, e permite trocas de umidade com o meio, garantindo assim, menor ou nenhum consumo de energia na climatização do ambiente construído.

De acordo com Steenbock (2021), na arquitetura contemporânea do Brasil houve uma mecanização no processo executivo da taipa de pilão. Antes da extração são feitos ensaios laboratoriais para avaliação do solo e para a verificação da necessidade de ter correção granulométrica ou adição de estabilizante (areia, cimento ou cal), para então extrair a terra com a ajuda de um trator, e caso a extração do solo não seja no próprio terreno, o que seria o ideal no quesito economia de custo e menor impacto ambiental, seria utilizado um caminhão para o transporte. Para realizar a mistura e a homogeneização da massa se utiliza um misturador de pás rotativas, e para a sua compactação se usa um compactador pneumático.

Além disso, atualmente as formas são projetadas e modulares, para facilitar o processo de montagem e desmontagem, feitas com materiais reutilizáveis, como o madeirite plastificado para os acabamentos laterais e a estrutura metálica para os montantes de travamento. Explorando a importância do desempenho das formas para um resultado físico-mecânico e estético mais satisfatório, evitando principalmente a falta de prumo da forma e possíveis patologias (STEENBOCK, 2021).

Para que as paredes tenham menor manutenção e sejam mais protegidas, medidas preventivas como a execução de quinas chanfradas, de beirais, da base acima da fundação e do passeio rente a parede são previstos. A aplicação de PVA (poliacetato de vinila) também é realizada preventivamente, tanto na face externa, quanto interna da parede. As instalações elétricas e hidráulicas comumente são executadas de forma aparente utilizando PVC, ferro galvanizado ou cobre, principalmente devido a facilidade na manutenção se comparada com as instalações embutidas na taipa (STEENBOCK, 2021).

A ancoragem executada independe da atuação da parede de taipa de pilão. Como travamento, amarração e distribuição de cargas, a cinta de amarração pode ser executada como elemento estrutural entre as paredes e a cobertura, normalmente realizada por vigas aparentes de concreto, metálica ou madeira. Para maior otimização da construção, os vãos das esquadrias têm a mesma altura dos painéis de taipa, não necessitando de amarração intermediária. Os materiais possuem comportamentos diferentes, sendo importante uma separação entre a cinta de amarração e a parede, para evitar trincas oriundas de movimentações estruturais (STEENBOCK, 2021).

Essas mudanças permitem maior qualidade na entrega final da parede de taipa, com alto controle de trincas, fissuras, desagregação entre camadas, ondulações, arrancamentos superficiais causados na desforma e atraso no cronograma (STEENBOCK, 2021).

Como ilustram a **Fig. 8** e a **Fig. 9**, o que era tradicionalmente executado de forma empírica, hoje há desde o estudo preliminar do projeto de arquitetura até a finalização da obra, a fim de garantir melhor desempenho e qualidade com a terra enquanto matéria-prima (TAIPAL, 2023).



Fig. 8 – Detalhe construtivo da ancoragem independente da taipa de pilão.

Fonte: TAIPAL (2023).

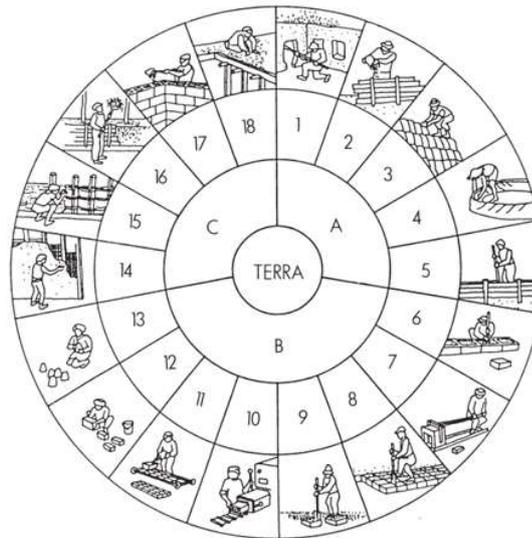


Fig. 9 – Casa Colinas, Piracicaba, São Paulo.
Fonte: ARCHDAILY (2014). Modificado pela autora.

2.2.1. SISTEMA CONSTRUTIVO EM TAIPA DE PILÃO

Na **Fig. 10**, o diagrama de técnicas de construção com terra que utilizam a terra como matéria-prima, a terra se encontra ao centro, sendo possível ser dividida em três formas de uso: (A) monolítica e autoportante, onde não há separação entre o material e a técnica construtiva; (B) alvenaria autoportante, onde há a construção prévia e a cura de unidades em terra; (C) enchimento de uma estrutura de suporte, onde há a utilização da terra como um elemento secundário e essas estruturas de suporte tradicionalmente são de origem vegetal, como madeira ou bambu. Abrindo suas formas de uso, encontramos na (A) 5 técnicas, na (B) 8 técnicas e na (C) mais 5 técnicas, somando 18 técnicas no total.

Ainda na **Fig. 10**, verifica-se que a taipa de pilão é um sistema monolítico e autoportante (A), onde a transformação do solo e a edificação são constituídas num mesmo processo, sendo executada a técnica de terra compactada (5), que o material é compactado entre fôrmas denominadas taipais.



In HOUBEN, Hugo ; GUILLAUD, Hubert; (1989). *Traité de Construction en Terre*. Marseille: Editions Parenthèses - p.15

A	B	C
UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA MONOLÍTICA E PORTANTE	UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA DE ALVENARIA PORTANTE	UTILIZAÇÃO DA TERRA COMO ENCHIMENTO DUMA ESTRUTURA DE SUPORTE
1 - TERRA ESCAVADA	6 - BLOCOS APILOADOS	14 - TERRA DE RECOBRIMENTO
2 - TERRA PLÁSTICA	7 - BLOCOS PRENSADOS	15 - TERRA SOBRE ENGRADADO
3 - TERRA EMPILHADA	8 - BLOCOS CORTADOS	16 - TERRA PALHA
4 - TERRA MODELADA	9 - TORRÕES DE TERRA	17 - TERRA DE ENCHIMENTO
5 - TERRA PRENSADA: TAIPA	10 - TERRA EXTRUDIDA	18 - TERRA DE COBERTURA
	11 - ADOBE MECÂNICO	
	12 - ADOBE MANUAL	
	13 - ADOBE MOLDADO	

Fig. 10 – Diagrama de técnicas de construção que utilizam a terra como matéria-prima.
Fonte: HOUBEN e GUILLAUD (1989). Modificado por FERNANDES (2006).

A **Fig. 11** apresenta um esquema para otimização do canteiro de obra com mecanização para a execução da técnica de taipa de pilão. A organização e o posicionamento dos materiais e equipamentos, para que gaste menor tempo e tenha apenas movimentações de mão de obra necessárias, duas frentes de trabalho, para que mantenha a produtividade, e proteção da parede pronta, para que diminua o risco de retrabalho.

A Norma Brasileira (NBR) 17014:2022, estabelece requisitos e condições gerais para a execução, o controle e a aceitação da taipa de pilão, que deve atender aos seguintes requisitos geométricos: a) espessura da taipa ≥ 30 cm, esbeltez ≤ 10 e comprimento máximo ≤ 9 m; b) contendo um estabilizante sua espessura pode ser reduzida e sua esbeltez aumentada, caso atenda aos requisitos da norma para a mistura compactada; c) a taipa com adição de cimento deve ter espessura ≥ 12 cm e esbeltez ≤ 23 .

DIAGRAMA DE PRODUÇÃO EM UM CANTEIRO DE OBRA

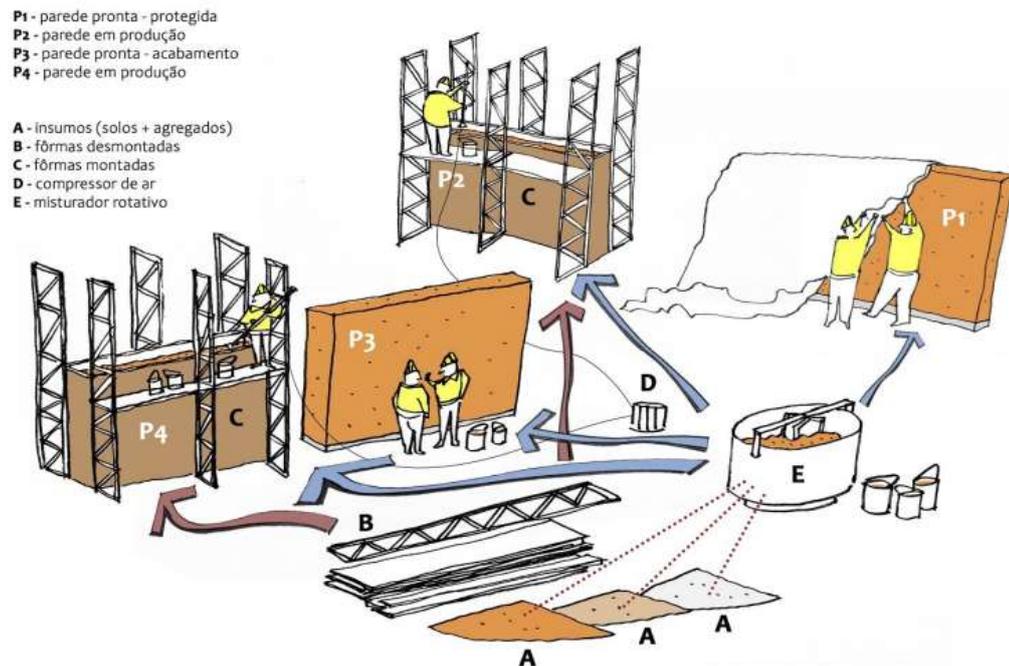


Fig. 11 – Diagrama de produção em um canteiro de obra de taipa de pilão.

Fonte: HEISE e MINTO (2022).

A taipa é uma caixa sem a parte inferior e parte superior, unida por tirantes. O objetivo da forma é conter o solo enquanto está sendo compactado, sendo um dos principais elementos para uma boa execução da técnica. Ela pode ser feita de diversos materiais, sendo a madeira mais usada por ser de fácil adaptação a obra, como o compensado ou madeiras de lei, dependendo do objetivo do construtor com a técnica. Os grampos comumente utilizados são metálicos e deixam um furo na taipa chamado de cobogó. Para garantir o prumo e manter constante a espessura da parede usam-se guias verticais que inclusive facilitam o deslocamento dos moldes. Visto que as quinas são os lugares mais frágeis da taipa, as quinas são chanfradas ainda dentro da forma, evitando desgastes (KEABLE e KEABLE, 2011).

Contemplando também a importância do projeto específico da fôrma, que deve ser projetada, construída e montada, a NBR 17014:2022 recomenda:

- projeto que contemple: posicionamento das placas, guias, barras de suporte, travas, escoras e sequência de desmontagem;
- placas rígidas e elementos estruturais, suficientes para assegurar a tolerância dimensional, o prumo e o alinhamento especificados em 4.3.2, e a integridade da taipa;
- materiais constituintes que atendam aos seus requisitos específicos;
- resistência aos agentes aos quais possa ser submetida durante o processo de execução da taipa, considerando-se: ações ambientais; carga de estrutura auxiliar; cargas permanentes de partes da taipa a serem suportadas pela estrutura auxiliar até a desforma; ações dinâmicas produzidas pelo lançamento e compactação da mistura;
- estanqueidade, resistência à abrasão da superfície e conformidade com a forma e dimensões da taipa a ser executada;
- prumo e alinhamento garantidos pelos elementos estruturais de suporte, travamento e escoramento, devidamente estabelecidos no projeto específico;
- superfícies internas

limpas e preparadas com agente desmoldante, a fim de evitar que ocorra aderência da mistura à fôrma. O agente desmoldante deve ser adequado para que não deixe resíduos na superfície da taipa, não altere a caracterização física e mecânica da mistura, e não degrade as superfícies da fôrma (NBR 17014:2022, p. 6).

A deformação resultante do teste não pode ter mais do que 3mm, sendo que para testar qual deformação a forma terá quando carregada, deve-se colocar a mesma em cima de ripas de 50x50mm na distância dos tirantes. No centro, colocar uma marca dos dois lados marcando o local em que a forma se encontra, posteriormente a isso, ainda no centro colocar um peso de 150Kg e fazer uma segunda marca para mostrar onde a forma se encontra após a colocação dos pesos. Medir a diferença em cada lado e por fim fazer uma média entre essa diferença, sendo o resultado a sua deformação (KEABLE e KEABLE, 2011).

O transporte, o lançamento e a compactação da mistura podem ser manuais ou mecânicos, devendo utilizar os equipamentos compatíveis a construção, conforme a necessidade de preenchimento de espaços no interior da fôrma. Desde a saída do local do seu preparo até o lançamento no sistema de fôrmas, é necessária uma verificação visual da mistura quanto à manutenção de sua umidade e homogeneidade, e quanto ao seu lançamento e sua compactação, que não podem provocar deformações visíveis na fôrma. Além disso, durante o processo da compactação da taipa deve-se verificar o prumo e executar o alinhamento da fôrma (NBR 17014, 2022).

A **Fig. 12**, apresenta o compactador manual, que pode ser de madeira ou metal, pesar de 5 a 10Kg, seu cabo ter de 1,50m a 1,80m de comprimento e sua cabeça deve ter de 80 a 120mm de largura, sendo que suas formas podem variar, de acordo com os experimentos feitos e sua necessidade, por exemplo, o formato para a compactação de cantos é diferente para compactar os meios. A altura de ação do compactador deve ser de 150 a 300mm, utilizando uma força moderada. Também apresenta o compactador pneumático, que funciona através de um sistema pneumático de ar comprimido. A cabeça é normalmente circular com o diâmetro de 70 a 150mm. Ele exige menos força de trabalho, mas não aumenta a resistência da parede (KEABLE e KEABLE, 2011).

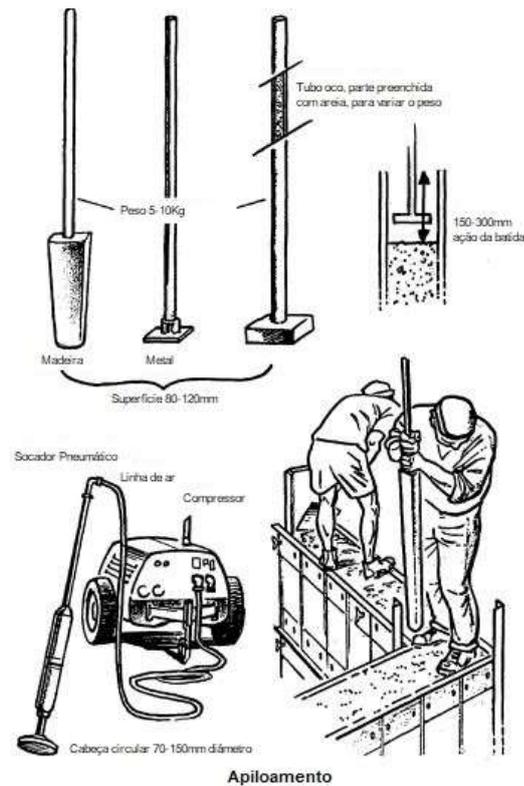


Fig. 12 – Compactadores.

Fonte: KEABLE e KEABLE (2011, pag 53). Modificado pela autora.

A mistura deve ser lançada em todo o comprimento da fôrma e espalhada até formar uma camada nivelada com altura máxima de 20cm de solo solto, que deve ser compactada aplicando-se golpes de maneira contínua e distribuída por toda a sua extensão. O tempo entre o início do preparo e a compactação final da mistura deve ser o mínimo possível, para evitar a perda de umidade, sendo que para as misturas contendo estabilizante, deve-se verificar a compatibilidade entre o tempo e a eficiência do estabilizante (NBR 17014, 2022).

Há divergência entre a NBR 17014 (2022) e o KEABLE e KEABLE (2011) relativo à tolerância na espessura do solo solto, nesse caso compactado em camadas de no máximo 10cm e depois com camadas de 50 a 70mm de espessura. A compactação deve começar sempre pelas laterais, cruzando de um lado para o outro para obter um resultado uniforme e depois para o centro até que a camada fique densa e dura, produzindo um som quando atingido pelo compactador. Isso reduz a pressão na forma. Sem mais mudanças nesse estágio, se inicia a próxima camada de 100mm, mantendo o mesmo processo (KEABLE e KEABLE, 2011).

O grau de compactação (GC) é determinado por uma equação, resultando na faixa de 95% a 105%, e deve ser verificado a cada 3m³ de mistura compactada ou a cada 4 h de trabalho de compactação da mistura, o que ocorrer primeiro. Caso não seja atingida esta especificação,

deve-se modificar a energia de compactação, o teor de umidade de compactação da mistura ou ambos (NBR 17014, 2022).

As formas devem ser projetadas com uma tolerância nos lados e seus tirantes, para prevenir dificuldades para desenformar. Para evitar que a forma se deforme, a compactação deve acontecer dos cantos, ao longo das bordas da forma, e por último no meio, quando os lados já estão compactados. Para que não bata nos tirantes e os deforme durante a compactação, são necessários golpes em ângulo, para que o solo seja compactado sob a amarração. As paredes devem ter suas quinas chanfradas, a fim de evitar que as mesmas sejam danificadas. Na fundação, deve-se observar como a forma será removida e onde os parafusos ficarão presos. Deve-se ter cuidado ao desenformar para que não prejudique o trabalho executado (KEABLE e KEABLE, 2011).

A fôrma pode ser desmontada com cuidado logo após o término da compactação da mistura. A taipa desformada deve ser protegida contra as intempéries até a realização da inspeção, conforme procedimento descrito na NBR 17014:2022. A cura deve ocorrer somente na taipa que contenha estabilizante, seguindo as recomendações do estabilizante empregado, ou caso seja cimento, a cura deve ser realizada por um período mínimo de sete dias. Para suportar as demais cargas atuantes na edificação após sua desforma, a taipa deve ter no mínimo 14 dias de idade e estar seca ao toque, se tiver estabilizante deve seguir as recomendações do projeto estrutural ou aguardar no mínimo 28 dias de idade (NBR 17014, 2022).

A maioria das paredes de terra, mesmo as estabilizadas, podem se beneficiar protegendo sua superfície, pois estariam sendo impermeabilizadas, tendo maior facilidade na limpeza da superfície, melhorando sua aparência, reduzindo seu desgaste, sua manutenção e seu ganho de calor por reflexão. A parede de taipa de pilão pode receber uma certa quantidade de chuva, desde que escorra na superfície, porém mesmo que seja bem-feita, a possibilidade de infiltrar com o tempo e o desgaste em uma microfissura existe. Por isso, tratar sua superfície ajuda a evitar possíveis problemas futuros (KEABLE e KEABLE, 2011).

As aberturas na parede enfraquecem a estrutura, as aberturas não devem ter mais do que metade do comprimento da parede, sendo o mínimo de distância de 600mm entre aberturas separadas por vergas. No caso da distância dos grupos de portas ou janelas ser menor do que a largura das aberturas, as vergas devem ser executadas de forma contínua (KEABLE e KEABLE, 2011).

A **Fig. 13** ilustra como as construções com terra precisam ter “boas botas e bons chapéus” para evitar que problemas com a erosão ocorram. Boas botas são as bases das paredes acima do nível do solo que utilizam materiais mais resistentes, as protegendo do respingo contínuo da chuva. Bons chapéus são as paredes protegidas da chuva de vento por uma boa estrutura de telhado com profundos beirais (KEABLE e KEABLE, 2011).

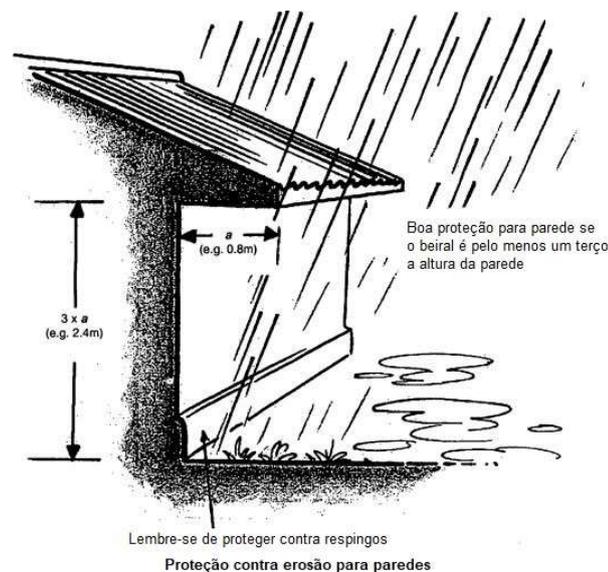


Fig. 13 – Proteção das paredes contra erosão.

Fonte: KEABLE e KEABLE (2011, pag 79). Modificado pela autora.

Devem ser previstos elementos construtivos que protejam os topos das paredes como pingadeiras, ou que protejam também de chuvas laterais, como grandes beirais. A impermeabilização da fundação e a execução de parede de arranque evitam o contato direto da parede com o chão para proteger sua base, e a aplicação de hidrofugante na superfície da parede ajuda a protegê-la. A execução de calçadas e drenos também são recomendadas (KEABLE e KEABLE, 2011).

Alguns tratamentos de superfície utilizados são: a cal hidratada, muito utilizada, porém sua manutenção é uma vez ao ano; o PVA, que pode ser usado em diluições com água, melhora a aderência da superfície para receber outros acabamentos ou é utilizada uma camada transparente como acabamento. É recomendado para paredes que recebem chuva de vento; a emulsão betuminosa, é uma tinta que deve ser aplicada apenas com a parede já seca para que tenha aderência, entre outros. As pinturas e os acabamentos na taipa de pilão devem ser feitos com materiais que permitam a migração de vapor de um lado para o outro. Os dois lados da taipa não deverão ser bloqueados para a circulação de vapor (KEABLE e KEABLE, 2011).

Relativo ao projeto da edificação, deve-se evitar que as paredes de taipa de pilão recebam cargas horizontais. Ela se caracteriza como um elemento estrutural moldado in loco com elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração, e a resultante das forças nas paredes de taipa de pilão deve ser sempre perpendicular à superfície resistente (KEABLE e KEABLE, 2011).

Por fim, percebe-se a importância da aplicação de normas como diretrizes que transmitem confiabilidade e responsabilidade na aferição dos parâmetros especificados em projeto (HEISE e MINTO, 2022), além do conhecimento das características do solo do local, para que a partir de testes seja escolhida a técnica com mais afinidade a região de trabalho.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DO SOLO PARA CONSTRUÇÃO COM TAIPA DE PILÃO

A terra é uma mistura de argila, silte e areia, e as vezes contém agregados maiores como cascalho e pedras. A definição de cada um dos elementos é pelo tamanho de suas partículas: a argila tem o diâmetro menor que 0,002mm, o silte entre 0,002mm e 0,06mm, e a areia entre 0,06mm e 2mm. Quando as partículas têm um diâmetro maior que 2mm, são chamadas de cascalhos e pedras. Como resultado dessa mistura e dependendo de qual componente é dominante, podemos ter uma terra argilosa, siltosa ou arenosa (MINKE, 2006).

A argila atua como um aglutinante para todas as outras partículas e é resultado da erosão de minerais, sendo que os minerais argilosos costumam ter uma estrutura cristalina laminar hexagonal. Dependendo da carga do mineral, a argila pode ter uma alta força de ligação inter laminar, ou seja, ser uma argila mais ativa. Assim, a força de ligação e a resistência à compressão da terra dependem do tipo e da quantidade de cátions da argila (MINKE, 2006).

O silte, a areia e os outros agregados atuam como enchimentos na terra. As suas propriedades são totalmente diferentes da argila, não tendo forças de ligação. Podem ter cantos arredondados ou quinas (MINKE, 2006).

A composição granulométrica do solo é representada pela curva de distribuição granulométrica, que mostra a relação entre a quantidade (%) e dimensão das partículas (mm) presentes (NEVES et al., 2009).

A compactabilidade é a capacidade da terra de ser compactada para que seu volume seja reduzido. Para atingir a compactação máxima, a terra deve ter um teor de água específico, chamado “teor ótimo de água”, que permite que as partículas sejam movidas para uma

configuração sem muito atrito, com maior densidade. Para cada técnica existe um “teor ótimo de água” determinado por testes. (MINKE, 2006).

A água é o elemento que vai ativar a argila, envolvendo a sua estrutura laminar com um filme fino de água e a fazendo inchar, adquirindo uma força de ligação. Se a água evaporar, a distância interlaminar é reduzida, as lamina se reorganizam e adquirem maior resistência à compressão e a tração (MINKE, 2006).

Conforme **Fig. 14**, os graus de umidade do solo variam seu estado de consistência para líquido, plástico ou sólido, sendo eles: limite de retração (LR), limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), tendo variações de acordo com a quantidade e o tipo da argila. A diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade resulta no índice de plasticidade (IP), que depende apenas da quantidade de argila presente no solo (NEVES et al., 2009).



Fig. 14 – Estado do solo, em função de seu teor de umidade.
Fonte: NEVES et al. (2009, pag 9).

De acordo com a **Tabela 1**, pode-se caracterizar o tipo de solo como arenoso, siltiloso ou argiloso, dependendo de seu índice de plasticidade (IP) e seu limite de liquidez (LL).

Tabela 1 – Classificação dos solos, em função dos IP e LL.

Tipo de solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	> 20	> 40

Fonte: NEVES et al. (2009, pag 10). Modificado de CRAterre (1979).

É imprescindível que para o uso da técnica de taipa de pilão, a terra não tenha matéria orgânica, devendo usar o solo escavado abaixo de 40cm, evitando a matéria vegetal e o húmus (MINKE, 2006). A NBR 17014:2022 ainda cita a não utilização de terra contendo matéria orgânica em decomposição ou com presença de sais solúveis.

No diagrama de classificação dos solos da **Fig. 15**, é possível observar que de acordo com a quantidade de silte, argila e areia, o solo se localiza em uma posição do diagrama, sendo definido pela cor apresentada.

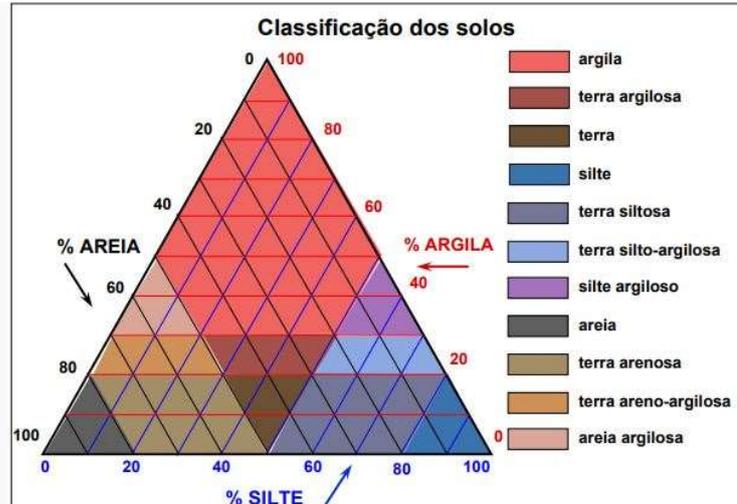


Fig. 15 – Diagrama de classificação dos solos, pelo teste do vidro.
Fonte: NEVES et al. (2009, pag 19). Modificado de AID et al (s/d) e MORAN (1984).

Para que o uso da terra na taipa de pilão seja o mais apropriado, o diagrama indicativo da **Fig. 16** apresenta um destaque de porcentagem para que a técnica tenha o melhor desempenho. A faixa colorida em amarelo apresenta uma parcela de aproximadamente 92% a 73% de areia e 8% a 27% de argila, sendo o silte um elemento intermediário principalmente para ter maior diversidade de granulometria

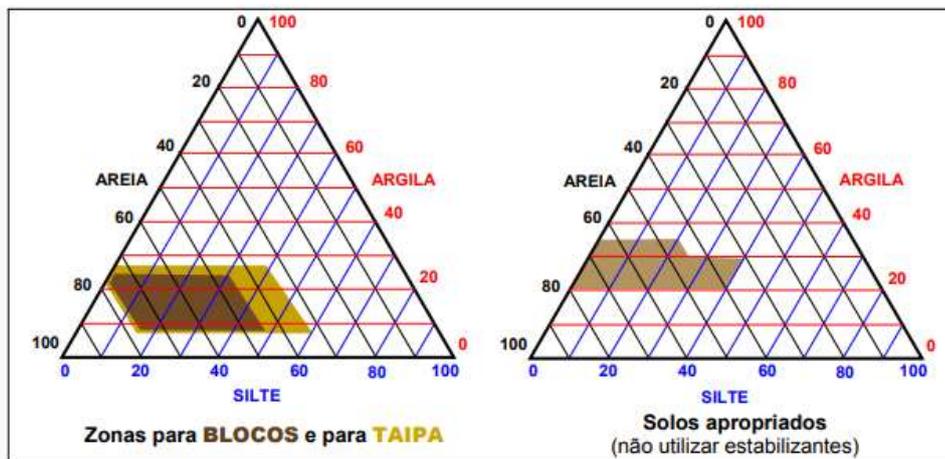


Fig. 16 – Diagramas indicativos de uso da terra, pelo teste do vidro.
Fonte: NEVES et al. (2009, pag 20). Modificado de AID et al (s/d) e MORAN (1984).

Visto que o solo é constituído basicamente por partículas que podem ser agrupadas de acordo com as dimensões dos grãos, a **Fig. 17** demonstra ser necessário realizar uma boa seleção do solo, onde o solo não deve ter apenas partículas grosseiras ou apenas partículas finas, deve ser uma mistura de partículas de todos os tamanhos, a fim de preencher todos os vazios (KEABLE e KEABLE, 2011).

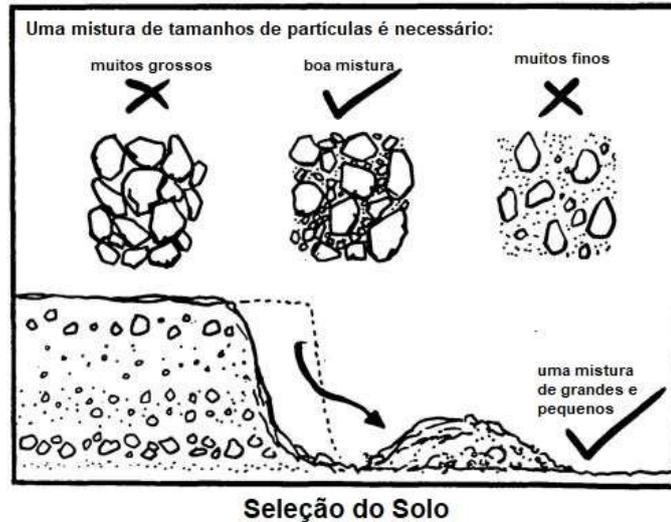


Fig. 17 – Seleção do Solo.

Fonte: KEABLE e KEABLE (2011, pag 17). Modificado pela autora.

No entanto, a NBR 17014:2022 também traz critérios para que a terra tenha características que atendam as normas vigentes:

- a) 100% de material que passe na peneira com abertura de malha de 50mm para a taipa com espessura maior que 20cm;
- b) 100% de material que passe na peneira com abertura de malha de 19mm para a taipa com espessura entre 12cm e 20cm;
- c) 50% a 80% de material retido entre as peneiras com abertura de malha de 2mm e 0,075mm;
- d) 20% a 35% de material que passe na peneira com abertura de malha 0,075mm;
- e) limite de liquidez $\leq 50\%$;
- f) índice de plasticidade $\leq 25\%$ (NBR 17014:2022, p. 3).

Para a estabilização do solo, vários materiais podem ser misturados com o solo para aumentar a resistência da parede resultante, sendo que para que o solo tenha uma boa trabalhabilidade, deve-se ter materiais de todos os tamanhos, aumentando a variabilidade da superfície específica (KEABLE e KEABLE, 2011). A superfície específica de um solo é a soma de todas as superfícies das partículas (MINKE, 2006). Essa composição granulométrica pode ser corrigida com adição de areia ou com a mistura de dois ou mais tipos de terra, com base nos resultados dos ensaios indicados em norma (NBR 17014, 2022).

Rezende (2012) afirma que para definir as misturas a serem utilizadas, dependerá dos resultados dos testes de campo e laboratoriais, além da região de trabalho. Sendo que em boa parte de Minas Gerais os solos são mais argilosos, sendo necessário o acréscimo de areia na recomposição dos mesmos. O uso de materiais considerados históricos (terra, areia, cal virgem), sob o ponto de vista do tempo e manejo apropriado, é comprovadamente pertinente e adequado.

A estabilização da taipa de pilão utilizando recursos físicos, mecânicos e meios químicos pode melhorar suas propriedades. A estabilização física é alcançada selecionando

uma melhor distribuição de tamanhos das partículas e tendo uma mistura apropriada de cascalho, areia, silte e argila. A estabilização mecânica acontece por meio da compactação dinâmica utilizando um compactador manual ou pneumático. A estabilização química é feita pela mistura de um agente de base química como o cimento, a cal ou qualquer outro aditivo que melhore as propriedades do solo (KARIYAWASAM e JAYASINGHE, 2016).

A NBR 17014:2022 permite o uso de estabilizante em uma dosagem que deve ser determinada para que a taipa atenda aos requisitos físico-mecânicos estabelecidos, e também atenda aos requisitos específicos do estabilizante. Com base no menor impacto ambiental, a taipa de pilão estabilizada com cimento é um material suficientemente forte e durável com baixa energia incorporada. A energia incorporada da taipa de pilão estabilizada em comparação a alvenaria de tijolos de barro queimado é de 15% a 25%, a construção estrutural de alvenaria de tijolos é de um terço (1/3) e a construção de concreto armado reforçado com alvenaria de tijolos é menos de um quarto (1/4) (KARIYAWASAM e JAYASINGHE, 2016).

A cal virgem (apagada) é um material encontrado em muitas taipas históricas, que devidamente adicionada ao solo diminui a absorção, a retração e a expansão do material e, a depender do argilomineral predominante, aumenta significativamente a resistência e a durabilidade da taipa (REZENDE, 2012). Assim, a estabilização com cal se tornou comum principalmente para melhorar o comportamento mecânico e a durabilidade da taipa de pilão (ÁVILA et al., 2021). Também comum, a estabilização com cimento traz maior e mais rápido ganho de força, durabilidade, disponibilidade e capacidade de obter propriedades aceitáveis com baixa porcentagem de cimento, especialmente em solos lateríticos. Em um solo arenoso laterítico, muitas vezes encontrado em países com o clima tropical, pode ser recomendável para a construção bem-sucedida de taipa de pilão teores de cimento superiores a 6% considerando as propriedades de força e durabilidade (KARIYAWASAM e JAYASINGHE, 2016).

Para Mendes (2021), mesmo com a mecanização e o uso de estabilizantes na taipa, como o cimento, seu principal estabilizador e de maior impacto atualmente, a energia incorporada da taipa contemporânea é muito inferior à energia incorporada de paredes de tijolos cerâmicos, por exemplo, concluindo que apesar de todas as mudanças tecnológicas, essa técnica ainda pode ser considerada uma alternativa de baixo impacto ambiental.

3. SANTA RITA DO SAPUCAÍ

Conforme **Fig. 18**, Santa Rita do Sapucaí está localizada no sul de Minas Gerais, próximo a grandes polos econômicos do Brasil – a 200Km de São Paulo/SP, a 350km do Rio

de Janeiro/RJ e a 400Km de Belo Horizonte/MG. Situa-se na região de vales que forma a Bacia do Sapucaí, cercada pela Serra da Mantiqueira, sendo suas coordenadas geográficas: Latitude: 22° 14' 60'' Sul, Longitude: 45° 43' 11'' Oeste. O clima é tropical de altitude e o bioma é a Mata Atlântica. Sua população estimada é de 44.226 pessoas de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).



Fig. 18 – Localização de Santa Rita do Sapucaí em Minas Gerais.
Fonte: IBGE (2022).

De acordo com a **Fig. 19**, a principal classe de solo da região de Santa Rita do Sapucaí é a dos argissolos. Os argissolos são argilosos, constituídos por material mineral, caracterizados pela cor forte avermelhada até amarelada, e pela acumulação de argilas procedentes dos horizontes superiores e também de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio no horizonte B, localizado imediatamente abaixo dos horizontes A ou E, que se caracterizam pela perda de argila, com matéria orgânica ou substâncias minerais, podendo ter argila de baixa ou alta atividade, com nítida diferença entre os horizontes (BRANCO, 2014).

computadores disponíveis, mas não tinham acesso à internet e passaram a ter após o INATEL testar a tecnologia desenvolvida para o 5G na escola.

As políticas públicas associadas ao investimento privado são capazes de promover o desenvolvimento endógeno local, bem como fazer surgir uma vocação para certa localidade. O investimento em educação básica, técnica e superior em determinado local criam vantagens competitivas para o mesmo, visto que, com a presença destes fatores (SOUZA, 2009).

Sinhá Moreira está entre as maiores inspirações para os santa-ritenses. Mulher, visionária, empoderada e engajada com a comunidade local. Para que a ETE “FMC” se tornasse realidade, conseguiu o apoio do presidente Juscelino Kubitschek, doou terras para construir a escola e firmou parceria com os jesuítas, para auxiliá-la na parte educacional.

Hoje, como consequência do legado da Dona Sinhá, a cidade abriga mais de 150 empresas, tem um ecossistema de startups, incubadoras e um programa de pré-aceleração, sendo referenciada como o “Vale do Silício” brasileiro. Essas práticas de empreendedorismo local é um dos elementos mais importantes e que tem conferido dinamismo ao sistema local (GARCIA et al., 2018).

Dos movimentos que acontecem em Santa Rita do Sapucaí, o principal é o “Cidade Criativa, Cidade Feliz” (CCCF). Criado em 2013, atua em cima de quatro pilares: a tecnologia, como elemento fundamental para o desenvolvimento na sociedade contemporânea; o empreendedorismo, como uma ação para desenvolver a habilidade de sonhar e alcançar; a arte e a cultura, como um elemento de humanização, e alteração do intelecto e da consciência; a ética e a cidadania, como forças para estimular a crítica, e o espírito colaborativo. O movimento tem como um dos autores o arquiteto e urbanista Paulo Tadeu Leite Arantes e trabalha integrando diferentes setores e lideranças, e fomentando a economia criativa a fim de solidificar a cultura local, utilizando como base uma sociedade plena, solidária e justa, tendo como principal meta a felicidade da população (CCCF, 2023).

O movimento CCCF estimula o enfrentamento dos dilemas do mundo contemporâneo, mas a desatenção observada para a formação física da cidade como ambiente saudável limita o desenvolvimento da mesma. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS):

“Um município saudável, de acordo com a OMS, é aquele em que as autoridades políticas e civis, as instituições e organizações públicas e privadas, os proprietários, empresários, trabalhadores e a sociedade dedicam constantes esforços para melhorar as condições de vida, trabalho e cultura da população; estabelecem uma relação harmoniosa com o meio ambiente físico e natural e expandem os recursos

comunitários para melhorar a convivência, desenvolver a solidariedade, a cogestão e a democracia. “(Cidades Saudáveis, 2020).

A constante busca de um ecossistema estável e sustentável, nos envolve em questões construtivas como, por exemplo, a aprimoração da mobilidade urbana e o incentivo a construção com menor impacto ambiental, atitudes até então despercebidas no município.

Santa Rita do Sapucaí caminha para se tornar uma cidade inteligente, apoiada pelos eixos de Tecnologia e Inovação, Educação e Empreendedorismo, principalmente dentro do contexto de Internet das Coisas (IoT). A instalação de equipamento de monitoramento via GPS em toda a frota do município (140 veículos) e a criação do aplicativo Cidadão Online são alguns exemplos em funcionamento hoje, porém o projeto também prevê a implantação de soluções inteligentes para iluminação e segurança. Em 2022, o INATEL inaugurou um espaço coworking aberto a comunidade.

Há três pontos de abastecimento de veículos elétricos na cidade, o que incentiva o uso de energias alternativas. Em 2016, a ETE “FMC” inaugurou a primeira usina solar do Município, e em 2021 a segunda usina solar foi inaugurada, dessa vez pelo INATEL. E uma cooperativa de energia solar foi instalada na incubadora municipal pelo Programa Municipal de Inovação de Santa Rita do Sapucaí (PROINTEC).

O Município foi classificado como finalista na categoria Inovação e Sustentabilidade da etapa estadual da XI Edição do Prêmio Prefeito Empreendedor. Os esforços são visíveis para que a cidade se torne uma cidade inteligente e referência no Brasil (PMSRS, 2022).

Porém, foram observadas lacunas na arquitetura e no urbanismo local, se tornando um ponto a ser trabalhado para atingir os parâmetros de uma cidade inteligente. Segundo Sousa (2020), a arquitetura da cidade não desperta novidades, com uma paisagem comum, patrimônios históricos se misturam com arquiteturas mais modernas e construções mais abastadas dividem espaço com casebres.

Sob o viés de outros eixos, como o de Meio Ambiente e o de Urbanismo, Santa Rita do Sapucaí não apresenta ações tangíveis até o momento, em contraste com os eixos de Tecnologia e Inovação, Educação e Empreendedorismo. Não há incentivo e/ou investimentos relevantes para o desenvolvimento desses outros eixos, como a disseminação de construções com menor impacto ambiental, como as construções de terra, opções viáveis para a transformação da cidade.

Além disso, visto que a relação entre cidade inteligente e cidade sustentável não pode estar desassociada, esses incentivos e investimentos se fazem imprescindíveis para que haja um desenvolvimento sustentável, sendo essa uma projeção do ambiente urbano futuro.

3.1. CIDADES INTELIGENTES BRASILEIRAS

A cidade é avaliada no Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC – BR), do Instituto Cidades Sustentáveis, em parceria com o *Sustainable Development Solutions Network* (SDSN), com um nível de desenvolvimento sustentável alto.

Cidade inteligente é a cidade que funciona de modo sustentável e inteligente, com a integração de todas as suas infraestruturas e serviços de maneira coesa e usando serviços inteligentes para o seu monitoramento e o seu controle, garantindo sustentabilidade e eficiência (HANCKE et al., 2012). A British Standards Institution (BSI) define cidade inteligente sendo como a integração mais eficiente e eficaz dos sistemas físico, digital e humano na construção de um meio ambiente que ofereça um futuro sustentável, próspero e inclusivo para seus cidadãos.

Em comparativo, o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido em 1987 no Relatório *Brundtland* da Organização das Nações Unidas, como um processo que “atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”, considerando a sustentabilidade ambiental, econômica e sociopolítica. Em 2002, a Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada durante a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, definiu desenvolvimento sustentável como sendo os “pilares interdependentes e que se sustentam mutuamente (...) – desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental – nos âmbitos local, nacional, regional e global”.

Isto significa que o desenvolvimento sustentável não pode estar desassociado a uma cidade inteligente, visto que visam desenvolver práticas semelhantes.

No Brasil, um diagnóstico anual das cidades brasileiras idealizado pela Necta e Urban Systems, denominado Ranking Connected Smart Cities (CSC), visa a construção de cidades mais inteligentes, humanas e sustentáveis, com 75 indicadores inspirados na NBR ISO 37122:2020 (Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para Cidades Inteligentes). Em 2022, o estudo coletou e analisou os dados de todos os municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes, totalizando 680 municípios, em 11 eixos temáticos, sendo eles: mobilidade,

urbanismo, meio ambiente, tecnologia e inovação, economia, educação, saúde, segurança, empreendedorismo, governança e energia (Urban Systems, 2022).

Na **Tabela 2**, são apresentados os 10 primeiros municípios colocados no ranking geral de 2022. O total de pontos no ranking geral é de 70,0, sendo atribuídos três escalas de pesos:

- Peso 0,5 para indicadores dicotômicos (sim ou não): Bilhete eletrônico, transporte público, Semáforos inteligentes, Emissão De Certidão Negativa, De Débito E Alvará No Site Da Prefeitura, Monitoramento De Área De Risco, Sistema de iluminação inteligente, Agendamento de consulta na rede pública de saúde, Centro de controle e operações e Matrícula escolar na rede pública online;
- Peso 0,8 para indicadores que abrangem uma escala de nota ou avaliação: Lei Sobre Zoneamento Ou Uso E Ocupação Do Solo, Lei Sobre Operação Urbana Consorciada, Lei De Plano Diretor Estratégico Municipal, Cadastro Imobiliário (Informatizado, georreferenciado e disponibilizado ao cidadão), Atendimento ao Cidadão - Aplicativo Criado pela Prefeitura ou Outro Organismo;
- Peso 1,0 para os indicadores numéricos, de escala, crescimento ou percentual.

A cidade de Curitiba (PR) mesmo ocupando a primeira colocação na posição geral das cidades brasileiras mais inteligentes e conectadas do país, encontra-se ainda distante do total de pontos do CSC, refletindo a necessidade de o Brasil investir nos 11 eixos temáticos abordados (Urban Systems, 2022).

O poder público de Curitiba tem como objetivo ações que tornem a cidade neutra em carbono, adaptada às mudanças climáticas e resiliente até 2050, alinhando-a às metas internacionais de enfrentamento do aquecimento global. Para isso, há grande investimento em infraestrutura, mobilidade e meio ambiente (Site do Governo de Curitiba, 2022).

Tabela 2 – CSC (2022).

POSIÇÃO	MUNICÍPIO (UF)	NOTA (70,0 PONTOS)
1º	Curitiba (PR)	38,571
2º	Florianópolis (SC)	37,925
3º	São Paulo (SP)	36,877
4º	São Caetano do Sul (SP)	36,365
5º	Campinas (SP)	35,778
6º	Brasília (DF)	35,731
7º	Vitória (ES)	35,604
8º	Niterói (RJ)	35,574
9º	Salvador (BA)	35,570
10º	Rio de Janeiro (RJ)	35,536

Fonte: Urban Systems (2022). Modificado pela autora.

Uma das cidades que também caminha para se tornar uma cidade inteligente é Santa Rita do Sapucaí (MG), com iniciativas do setor público e privado, entretanto com incentivos desiguais entre os eixos temáticos citados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para se alcançar o objetivo geral referido na presente pesquisa, os objetivos específicos propostos devem atingidos, com a utilização dos materiais e métodos descritos a seguir.

4.1. MATERIAIS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram necessários os seguintes materiais: solo e areia. O solo, utilizado nesta pesquisa, foi retirado no bairro rural Vintém em Santa Rita do Sapucaí, conforme **Fig. 20**. O local foi definido por sua proximidade com o centro urbano da cidade, ao mesmo tempo que tem os recursos de maneira acessível, como um grande volume de solo disponível, uma exigência da técnica. O solo foi perfurado com o auxílio de um perfurador de solo e extraído a partir de 40cm de profundidade, para descartar a presença de material orgânico.



Fig. 20 – Mapas referenciando o local de coleta do solo realizado na ferramenta GEarth, sem escala.
Fonte: Autora (2023).

A areia média quartzosa foi adquirida na região, composta por grãos de diâmetros compreendidos entre 0,20 mm e 0,60 mm, de acordo com a escala granulométrica da NBR 6502 (ABNT, 1995).

4.2. MÉTODOS

Como forma de avaliar a viabilidade do solo para produzir taipa de pilão, foram adotadas as seguintes etapas: i) coleta e caracterização da amostra composta por 100% solo estudado; ii) caracterização da amostra composta por mistura de solo 2:1 areia média e determinação de umidade ótima das duas amostras; iii) produção e avaliação mecânica de corpos de prova de duas amostras (100% solo estudado; mistura de solo 2:1 areia média).

Para entender a aplicação desse solo na técnica de taipa de pilão e obter as respostas necessárias para os objetivos específicos propostos, foram realizados os seguintes ensaios respeitando as normas vigentes:

- Preparação das amostras de solo para os ensaios (ABNT NBR 6457:2016);
- Teor de umidade: definida a umidade do solo por meio do método da estufa (ABNT NBR 6457:2016);
- Massa específica dos sólidos: estabelecido a partir da determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm, por meio de picnômetro (ABNT NBR 6508:1984);
- Índice de plasticidade (IP): estabelecido por meio da determinação do limite de liquidez (LL) (ABNT NBR 6459:2016) e pela determinação do limite de plasticidade (LP) (ABNT NBR 7180:2016) do material;

- Granulometria: definido a partir da análise granulométrica, para conhecer sua distribuição (ABNT NBR 7181:2016);
- Compactação: estabelecido por meio da determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca dos materiais quando compactados (ABNT NBR 7182:2016); e da compactação estática dos solos (REDDY et al., 1993).
- Resistência a compressão: estabelecido por meio da determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT NBR 7215:2019); do método de ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos (ABNT NBR 12025:2012);
- Taipa de Pilão – Requisitos, procedimentos e controles (ABNT NBR 17014:2022).

Na primeira etapa, para a preparação da amostra do solo, foram descartadas manualmente as raízes maiores que vieram com a utilização do perfurador de solo, o solo foi seco ao ar, foi desmanchado os torrões manualmente, evitando a quebra de grãos e homogeneizando a amostra, de acordo com a **Fig. 21**, para então serem colocadas na estufa a 105°C a 110°C por 24 horas.



Fig. 21 – Destorroamento do solo.
Fonte: Autora (2023).

Posteriormente, as amostras ficaram dispostas ao ar livre novamente, peneiradas no momento da utilização, usando a fração de solo passante na peneira de 4,80 mm de abertura de malha, buscando simular como ocorreria em uma obra de construção e evitando a quebra de grãos, homogeneizando e mantendo a representatividade das características daquela terra, seguindo a NBR 6457:2016.

Para a caracterização do solo, foram realizados ensaios laboratoriais em concordância com a NBR 7181:2016. Na primeira fase da pesquisa, visando analisar o solo estudado, foi produzida uma amostra (T0), composta com 100% solo (**Tabela 3**).

- T0: traço referência – 100% solo coletado – sem correção na composição granulométrica e sem adição de estabilizante.

Tabela 3 – Proporção dos materiais usados.

Amostra	Correção composição granulométrica	Cimento	% Cimento em adição
T0	-	-	-
T1	Solo 2:1 areia média	-	-

Fonte: Autora (2023).

Após as amostras terem sido preparadas, iniciou-se o ensaio de granulometria, para solos siltsos e argilosos passando na peneira de 2,0 mm, retendo os grãos maiores para o peneiramento grosso, realizando subsequente a sedimentação e o peneiramento fino, utilizando as peneiras e o agitador mecânico, de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016).

Como demonstra a **Fig. 22**, para a sedimentação o material foi colocado em um béquer com defloculante e deixado em repouso por 24 horas. Após esse período, foi adicionada água destilada ao material dentro de um dispersor de solo e submetido a ação do aparelho durante 15 minutos. Em um local com temperatura constante, o material foi transferido para uma proveta de 1000 cm³ e completado com água destilada até seu volume máximo. Durante 1 minuto, enquanto era agitada energicamente, a boca da proveta foi vedada com uma das mãos. Imediatamente após a agitação, iniciou-se a contagem do tempo de sedimentação, e com o densímetro na suspensão foram feitas as leituras dos tempos: 0,5, 1 e 2 minutos.

Retirando o densímetro após as leituras e colocando-o em uma proveta com água destilada para não sofrer alterações consideráveis, a temperatura foi determinada com a ajuda de um termômetro, que após sua medição também foi colocada em uma proveta com água destilada evitando sofrer possíveis alterações.

Posteriormente, foram feitas as leituras dos tempos: 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas a partir do tempo inicial da sedimentação, sempre retirando o densímetro após cada medição e determinando a temperatura da suspensão, conforme **Fig. 23**. Após a última leitura, o material foi utilizado para a realização do peneiramento fino.



Fig. 22 – Béqueres com defloculantes.

Fonte: Autora (2023).

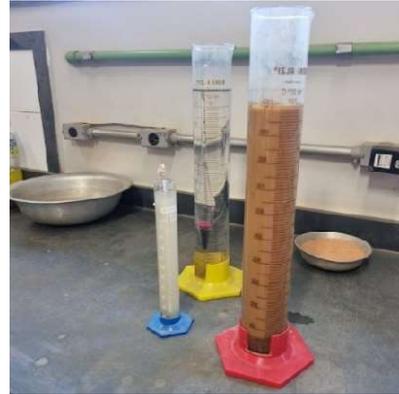


Fig. 23 – Análise granulométrica por sedimentação.

Fonte: Autora (2023).

Para o peneiramento fino, foi utilizado o material retido na proveta da sedimentação. Transferindo para a peneira 0,075 mm, com a lavagem do material à baixa pressão e retirando do excesso de água, a amostra foi seca em estufa a temperatura de 105°C a 110°C. Foram utilizadas as peneiras 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, formando um conjunto de peneiras com fundo e tampa, de forma que a peneira superior fosse aquela com maior abertura em sua malha e a última, antes do fundo, aquela com menor abertura, conforme determina a NBR 7181:2016. Após 15 minutos, utilizando um agitador mecânico com uma vibração de 50%, foi pesado o material retido em cada peneira (**Fig. 24**).

A **Fig. 25**, mostra o material retido para o peneiramento grosso na peneira 2,0 mm, que foi lavado para eliminar os finos que aderiram aos grãos de fração grossa e ficaram dispostos ao ar livre para secar e determinar o valor de umidade (w) da amostra. Foram utilizadas as peneiras 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm, formando um conjunto de peneiras com fundo e tampa, de forma que a peneira superior fosse aquela com maior abertura em sua malha e a última, antes do fundo, aquela com menor abertura, conforme determina a NBR 7181:2016. Após 15 minutos, utilizando um agitador mecânico com uma vibração de 50%, foi pesado o material retido em cada peneira (**Fig. 26**).



Fig. 24 – Análise granulométrica por peneiramento fino.

Fonte: Autora (2023).



Fig. 25 – Material retido lavado no peneiramento grosso.

Fonte: Autora (2023).



Fig. 26 – Análise granulométrica por peneiramento grosso.
Fonte: Autora (2023).

Para encontrar o Índice de Plasticidade (IP), foram determinados os Limites de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP). No LL, foi colocada a massa em aproximadamente $\frac{3}{4}$ do aparelho de Casagrande, criando uma ranhura central com a ajuda de um cinzel e a fechando dando entre 15 e 35 golpes do aparelho (**Fig. 27**). Parte da massa que se encontrou foi retirada, colocada em cápsulas e na estufa para a determinação de sua umidade (**Fig. 28**). A **Fig. 29** mostra o processo para a determinação do LP, que é rolar a massa em uma placa de vidro seguindo o gabarito cilíndrico do teste até se fragmentar. O cilindro de massa rompido é colocado em uma cápsula e posteriormente na estufa para a determinação de sua umidade (**Fig. 30**).



Fig. 27 – Determinação do LL.
Fonte: Autora (2023).



Fig. 28 – Determinação do LL.
Fonte: Autora (2023).



Fig. 29 – Determinação do LP.
Fonte: Autora (2023).



Fig. 30 – Determinação do LP.
Fonte: Autora (2023).

Para medir a massa específica dos sólidos com precisão foi utilizada uma bomba capaz de aplicar vácuo para remoção do ar aderente às partículas do solo do picnômetro, de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984). Na preparação da amostra, o material foi imerso em água destilada por 12 horas. Utilizando o copo dispersor por 15 minutos, foi feita a dispersão dos grãos colocando água destilada até metade do volume do copo. Após esse tempo, transferindo para o picnômetro, foi realizada a primeira aplicação de vácuo durante 15 minutos, completando com água destilada até a metade do volume do picnômetro. Importante ressaltar que não há perda de material, visto que em toda etapa foi utilizada a água destilada para as transferências.

A **Fig. 31**, mostra dois picnômetros em tempos de teste distintos, sendo a da direita com a primeira aplicação de vácuo, água destilada adicionada até cerca de metade do volume, e a da esquerda com a segunda aplicação de vácuo de duração de 15 minutos, com água destilada acrescentada até cerca de 1cm abaixo da marca de referência, sendo que nas aplicações de vácuo há a agitação do picnômetro em intervalos regulares de tempo. Por fim, utilizando um contagotas foi adicionada água destilada até a marca referência, pesado o picnômetro com o solo e a água adicionada, e medida a temperatura do conteúdo.



Fig. 31 – Bomba capaz de aplicar vácuo para a massa específica dos sólidos.

Fonte: Autora (2023).

Para a execução do ensaio para determinar o teor de umidade do solo, foi tomada uma parcela do solo, destorroado, colocado em três cápsulas metálicas adequadas e pesado. Na sequência, foi colocado em estufa à temperatura de 105°C a 110°C por 24 horas, retirado da estufa, aguardando atingir a temperatura ambiente para só então pesá-lo novamente, de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016).

Após os testes descritos, o solo foi classificado, sendo que segundo DAS (2007, pag. 70), pelo sistema unificado de classificação de solos, foi classificado como inorgânico, fino, silte arenoso, pela classificação da ABNT como uma areia argilosa siltosa, e pela classificação da ASTM como um silte argiloso arenoso. Independente da classificação, o solo estudado apresenta muitos finos, necessitando de correção granulométrica para a execução da técnica de taipa de pilão, seguindo a NBR 17014 (ABNT, 2022).

Na segunda etapa da pesquisa, visando corrigir a granulometria do solo estudado, foi realizada uma outra amostra, agora composta por uma mistura 2:1 de solo e areia média (T1), respectivamente, homogeneizada manualmente com o solo destorroado (**Tabela 3**).

- T1: traço da mistura (solo 2:1 de areia média) sem adição de estabilizante.

Utilizando as amostras preparadas para os ensaios com 100% solo, realizou-se a mistura com 2 partes de solo para 1 parte de areia média com grãos de diâmetros entre 0,20 mm e 0,60 mm, repetindo os processos para achar a sua granulometria, o seu intervalo plástico, a sua massa específica e o seu teor de umidade.

Na terceira etapa, após a definição dos traços desse estudo e com as amostras T0 e T1 preparadas, iniciou-se o teste de compactação, com um molde cilíndrico pequeno com colarinho resultando na curva de compactação, de acordo com a NBR 7182 (ABNT, 2016). Foram executados sete corpos de prova com diferentes umidades, com três camadas e 26 golpes em cada camada, sendo realizada a escarificação entre as camadas, a retirada de excesso da última camada com o auxílio de uma régua biselada e posteriormente foram pesados (**Fig. 32**). O processo foi repetido para a curva de compactação do T1, com cinco corpos de prova. Para ambos, foi utilizado um soquete metálico pequeno com massa aproximada de 2500 g e altura de queda (guia) de aproximadamente 305 mm. Após os corpos de prova serem retirados do molde com a ajuda de um extrator, foram retiradas amostras para obter o teor de umidade (**Fig.33**) e o restante da porção foi descartado.



Fig. 32 – Preparo dos corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compactação.

Fonte: Autora (2023).



Fig. 33 – Amostras retiradas dos cinco corpos de prova do ensaio de compactação.

Fonte: Autora (2023).

A umidade ótima do T0 e T1 foi determinada a partir do resultado da curva de compactação, onde tivemos pontos secos, pontos úmidos e um mais próximo a umidade ótima. Posteriormente esse ponto próximo da umidade ótimo foi utilizado no ensaio de resistência à compressão simples.

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão, por ser o principal parâmetro para caracterizar o comportamento mecânico das paredes de taipa de pilão, sendo ela estabilizado ou não (Avila et al., 2022). Para o preparo dos corpos de prova cilíndricos de 35 mm de diâmetro na base e 87,5 mm de altura aproximadamente, foi utilizada a umidade ótima determinada no teste de compactação de T0 e T1 (**Fig. 34**). Os corpos de prova foram compactados em três camadas com um soquete, com aplicações de 25 golpes e escarificação em cada camada. Posteriormente, foram retirados do molde com o emprego de extrator (**Fig. 35**), e pesados para determinar a sua massa úmida (mw), expressa em gramas (g).

Visando realizar um comparativo entre as duas amostras, o tempo de cura de todos os corpos de prova foi de 28 dias de idade, seguindo a recomendação da NBR 17014 (ABNT, 2022). Devido aos resultados obtidos durante o estudo, uma terceira amostra com a adição de cimento demonstrou ser desnecessária, resultando em apenas duas amostras finais, sendo moldados cinco corpos de prova para cada amostra. Todos os corpos de prova foram envoltos em plástico filme de PVC para reter umidade, mantidos em uma câmara úmida, com temperatura constante (**Fig. 36**).

Para repetir as condições de cura da taipa de pilão em condições normais, os corpos de prova não foram submetidos à cura submersa antes da ruptura das amostras (**Fig. 37**), visto que na execução da técnica não é utilizado esse tipo de cura. Após a ruptura das amostras, calculou-se uma média das resistência T0 e T1 em megapascals, ensaiados na mesma idade.



Fig. 34 – Preparo dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Autora (2023).



Fig. 35 – Emprego do extrator para o ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Autora (2023).



Fig. 36 – Corpos de prova cilíndricos (T1) para o ensaio de resistência a compressão com ruptura aos 28 dias.

Fonte: Autora (2023).



Fig. 37 – Corpos de prova cilíndricos (T0) para o ensaio de resistência a compressão com ruptura aos 28 dias.

Fonte: Autora (2023).

Após a análise do solo estudado foi possível entender que seria possível realizar a correção granulométrica com areia média, sem a adição de estabilizadores, como o cimento e a cal, tornando desnecessária essa energia incorporada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização do ensaio de granulometria (ABNT NBR 7181:2016), foi gerado um gráfico para análise granulométrica T0 e T1 (Fig. 38 e 39). Apesar da mistura T1 apresentar uma maior quantidade de argila, o que pode ter acontecido na coleta, visto que é um local sensível para a variação e a terra foi retirada com a ajuda de equipamento mecânico, o que dificulta ainda mais sua uniformidade, há uma diferença significativa na quantidade de finos passantes na peneira #0,075mm do T0 (75,45%) para o T1 (52,42%). No peneiramento fino, devido a adição de areia média no T1, houve um aumento na quantidade desses diâmetros. Para o peneiramento grosso não houve mudança significativa entre as curvaturas. Para que adicione mais energia de compactação, é válido ajustar a quantidade de diâmetros faltantes, diminuindo assim ainda mais os vazios.

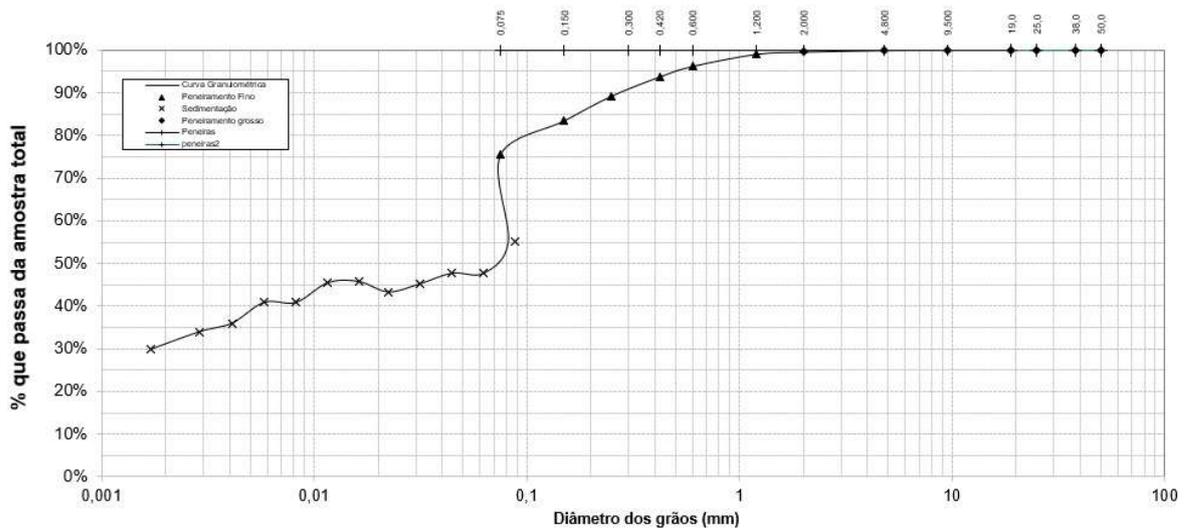


Fig. 38 – Análise granulométrica T0.

Fonte: Autora (2023).

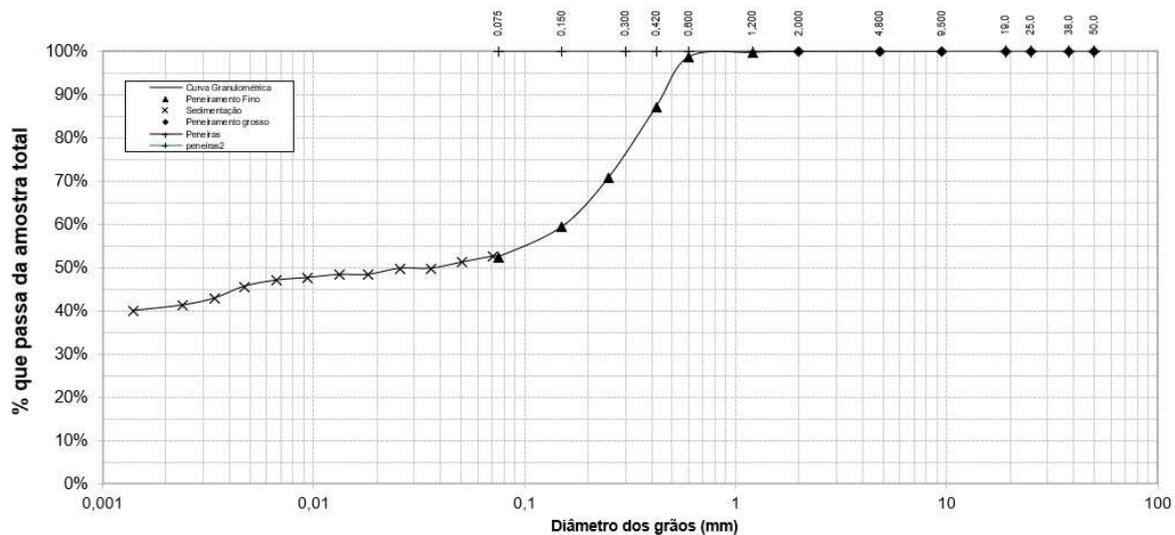


Fig. 39 – Análise granulométrica T1.

Fonte: Autora (2023).

Foi elaborada uma planilha (Tabela 4) com os resultados das quantidades de cada partícula que passa em uma amostra. A tabela é formada com os valores das quantidades, em %, que passam da amostra e as aberturas de malha (mm).

Tabela 4 – Análise granulométrica por peneiramento das amostras.

# abertura (mm)	% que passa da amostra T0	% que passa da amostra T1
50,000	100%	100%
38,000	100%	100%
25,000	100%	100%
19,000	100%	100%
9,500	100%	100%
4,800	99,95%	100%
2,000	99,57%	99,94%
1,200	99,07%	99,71%
0,600	96,22%	98,70%
0,420	93,74%	87,13%
0,250	89,26%	70,76%
0,150	83,47%	59,36%
0,075	75,45%	52,42%

Fonte: Autora (2023).

A partir da análise dos ensaios realizados com a amostra T0, observou-se que a dimensão máxima é de 0,60 mm e que o solo contém muitos finos passando 75,45% da amostra na peneira com abertura de malha 0,075 mm. O solo adequado para a taipa de pilão deve atender às seguintes características: a) 100% de material que passe na peneira com abertura de malha de 50 mm para a taipa com espessura maior que 20 cm; b) 100 % de material que passe na peneira com abertura de malha de 19 mm para a taipa com espessura entre 12 cm e 20 cm; c) 50% a 80% de material retido entre as peneiras com abertura de malha de 2 mm e 0,075 mm; d) 20% a 35% de material que passe na peneira com abertura de malha 0,075 mm (ABNT NBR 17014:2022).

Utilizando a areia média para a correção da granulometria do solo (T1) observou-se a diminuição de finos e melhor adequação do solo a NBR 17014 (ABNT, 2022).

Nos ensaios de caracterização do solo, como observado na **Tabela 5**, em relação a massa seca, o solo estudado torna-se plástico a partir do acréscimo de 37% (T0) e 25% (T1) de água, e torna-se líquido acrescentando 40% (T0) e 31% (T1) de água. O solo adequado para a taipa de pilão também deve atender o limite de liquidez $\leq 50\%$ e o índice de plasticidade $\leq 25\%$ (ABNT NBR 17014:2022). Ambos as amostras T0 e T1 atenderam a esse requisito.

Tabela 5 – Ensaio de caracterização do solo.

Amostra	Correção composição granulométrica	Limite de plasticidade	Limite de liquidez $\geq 45\%$	Índice de plasticidade $\geq 18\%$	Atende a NBR 17014 (ABNT, 2022)
T0	-	37%	40%	3%	SIM
T1	Solo 2:1 areia média	25%	31%	6%	SIM

Fonte: Autora (2023).

Na **Fig. 40** e **Fig. 41** pode-se observar o resultado da curva de compactação de T0 e T1, respectivamente, com pontos secos, pontos úmidos e um ponto mais próximo a umidade ótima. A partir desse ponto, foi determinada a umidade ótima e utilizada no ensaio de resistência à compressão simples.

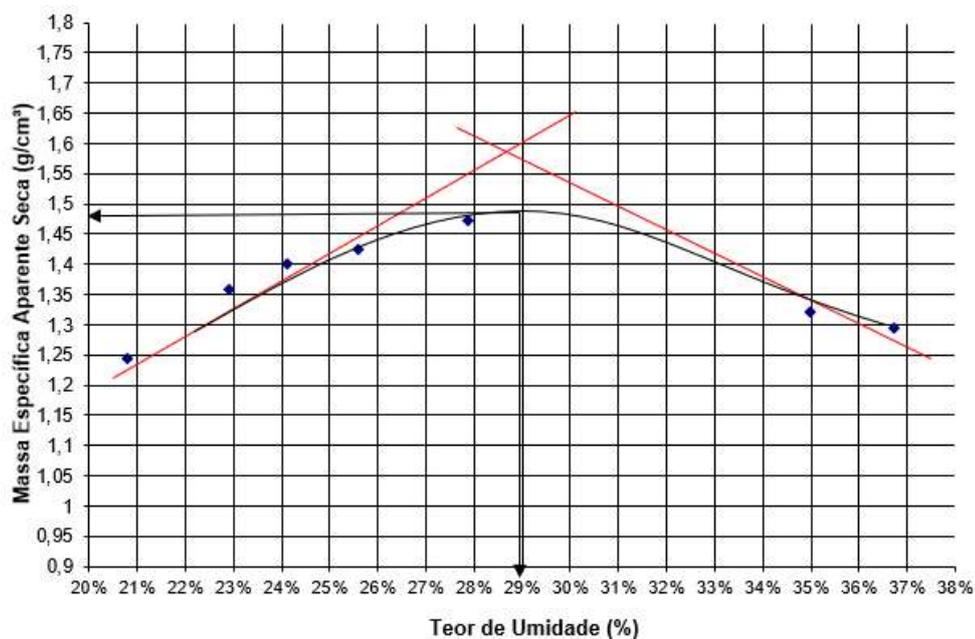


Fig. 40 – Curva de compactação T0.

Fonte: Autora (2023).

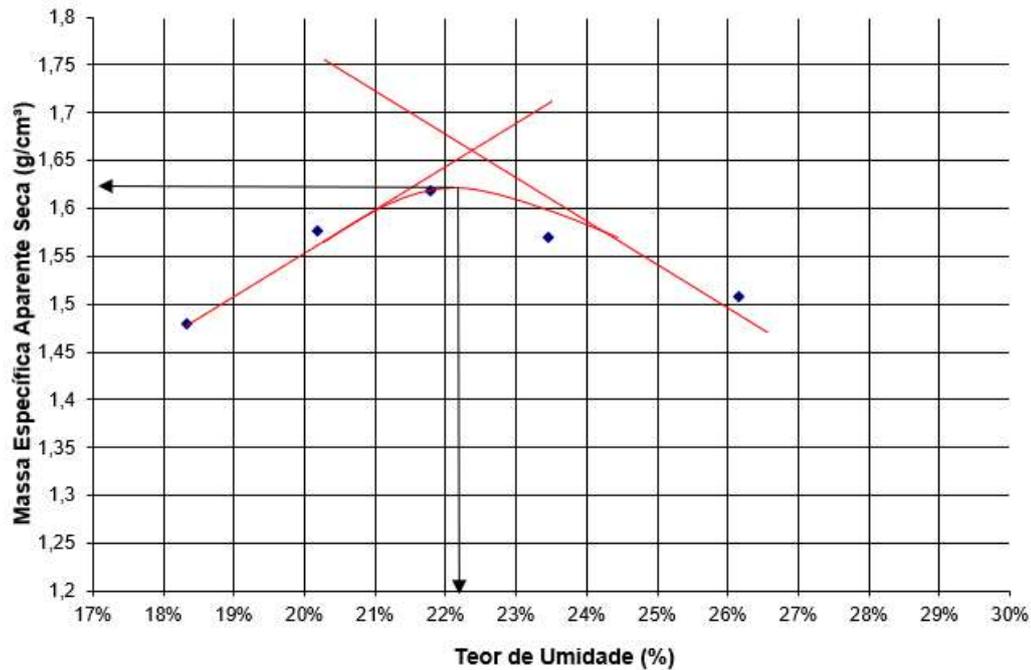


Fig. 41 – Curva de compactação T1.
Fonte: Autora (2023).

Houve um aumento da massa específica das amostras com adição de areia média (T1) em relação à amostra referência (T0), o que pode estar relacionado a incorporação dos grãos de diferentes dimensões, o que preenche mais vazios e aumenta o desempenho na compactação da mistura. Pode ser também devido à maior densidade da areia em relação ao solo.

A energia modificada de compactação pode aumentar com a adição de aglomerantes para uma melhor coesão, visando uma compactação mais eficiente.

De acordo com a NBR 17014 (ABNT, 2022), a mistura para execução da taipa deve atender ao requisito de massa específica aparente seca (γ_d) $\geq 1,750$ g/cm³, com seu correspondente teor de umidade (w) de compactação obtido na curva de compactação. A amostra com adição de areia média (T1) se aproximou da γ_d estipulada (**Tabela 6**), sendo estipulada por um gráfico de curva achatada, considerando o coeficiente de segurança para o controle tecnológico, critérios que visam garantir a qualidade, segurança e durabilidade na execução, podendo alcançar um valor de massa específica aparente seca (γ_d) superior ao apresentado.

Tabela 6 – Massa específica seca das amostras.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO MÁXIMO DETERMINADO
Massa específica T0 (g/cm ³)	1,24	1,36	1,40	1,43	1,47	1,32	1,29	1,480
w T0 (%)	20,8	22,9	24,1	25,6	27,9	35,0	36,7	28,90
Massa específica T1 (g/cm ³)	1,48	1,58	1,62	1,57	1,51	-	-	1,625
w T1 (%)	18,3	20,2	21,8	23,5	26,2	-	-	22,20

Fonte: Autora (2023).

Ao final dos 28 dias de cura dos corpos de prova para a realização do ensaio de resistência à compressão, foram submetidos à compressão em prensa hidráulica manual digital.

Após o rompimentos dos corpos de prova, observou-se que o modo de ruptura foi semelhante entre a maioria das amostras (**Fig. 42-45**). Mesmo com a realização da escarificação, é possível observar que o ponto mais frágil é entre camadas, o que pode ocorrer devido a relação entre a altura e a área de base dos corpos de prova, que não forma aderência suficiente.



Fig. 42 – Rompimento do corpo de prova.
Fonte: Autora (2023). Foto cedida por Talita Caroline Miranda.



Fig. 43 – Rompimento do corpo de prova.
Fonte: Autora (2023). Foto cedida por Talita Caroline Miranda.



Fig. 44 – Rompimento do corpo de prova.
Fonte: Autora (2023). Foto cedida por Talita Caroline Miranda.



Fig. 45 – Rompimento do corpo de prova.
Fonte: Autora (2023). Foto cedida por Talita Caroline Miranda.

Com a coleta de dados, foram excluídos os dois valores dos extremos de ambas as amostras, considerando o valor de apenas três para a média da resistência final, calculada relacionando a média (N) com a área de contato no rompimento. A resistência mecânica para o T0 e T1 está relacionada na **Tabela 7**:

Tabela 7 – Média de resistência à compressão das amostras.

Amostra	Resistência à compressão (N)	Média (N)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Área (mm ²)	Média (MPa)
T0	2166	2076,33	204,79	9,86	962,11	2,16
T0	2221					
T0	1842					
T1	1794	1959,33	167,54	8,55	962,11	2,04
T1	1955					
T1	2129					

Fonte: Autora (2023).

O resultado do comparativo do comportamento da mistura sem correção granulométrica com a mistura corrigida (com um terço de areia média), demonstra que para os valores de massa específica aparente seca desta última houve um aumento de 10%, mesmo sem atingir o valor mínimo prescrito na norma brasileira de taipa de pilão.

No entanto, para os valores de resistência à compressão obtidos, não foram observadas diferenças consideráveis, uma vez que os resultados podem ser considerados similares. Esses valores podem ser melhorados com adição de estabilizantes químicos, principalmente para que as misturas sejam mais resistentes ao contato com a água. Também podem mudar caso seja utilizado outros equipamentos, pois sofre influência do formato do corpo de prova.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Santa Rita do Sapucaí ainda não pode ser considerada uma cidade inteligente, visto que não há investimentos estratégicos relevantes de gestão urbana e/ou incentivos eficientes que interagem com a população, para suprir suas necessidades de moradia e construção. Porém, fundamentado nos critérios adotados e com os resultados obtidos, há indicativos positivos aplicáveis para a viabilidade técnica da estabilização do solo para execução da taipa produzida com o solo da região rural do Bairro Vintém em Santa Rita do Sapucaí - MG, com adição de areia média, sendo a areia um material de fácil acesso. Surge, portanto, uma alternativa viável para o desenvolvimento da parte do eixo de urbanismo de uma cidade inteligente, possibilitando o desenvolvimento de incentivos a construções de menor impacto ambiental no município.

Após a análise, foi possível concluir que:

- O resultado da análise granulométrica do solo apresentou grande quantidade de materiais finos, equivalente a argila e ao silte, o que torna mais viável, em uma primeira análise, uma técnica que utilize maior porcentagem desses materiais.
- As amostras moldadas com 100% solo (T0) e com a mistura com areia média (T1), respectivamente, obtiveram valores superiores aos parâmetros técnicos de resistência à compressão simples presentes na norma técnica de taipa de pilão, ABNT NBR 17014:2022, considerada neste estudo. Devido ao valor obtido no ensaio de resistência à compressão, não foi necessário adicionar cimento Portland nas amostras moldadas.
- Na ruptura das amostras moldadas com 100% solo (T0) e com a mistura com areia média (T1) foram observados pontos de fraqueza entre camadas, o que pode acontecer com a execução da parede de taipa de pilão na obra.
- As amostras T0 e T1 obtiveram valores abaixo do mínimo para massa específica aparente seca, considerando a norma técnica de taipa de pilão, ABNT NBR 17014:2022.

Fundamentado nos critérios adotados, há indicativos positivos aplicáveis para a viabilidade técnica da estabilização do solo para execução da taipa produzida com o solo da região rural do Bairro Vintém em Santa Rita do Sapucaí - MG, com adição de areia média, contanto que no detalhamento do projeto executivo a técnica seja utilizada em paredes que não sofrem contato com a água, podendo constar elementos construtivos que protejam os topos das paredes e de

chuvas laterais e respingos, visto que não foi investigada a resistência contra a ação das intempéries.

Como elementos construtivos pertinentes nesse caso, há: beiral de pelo menos um terço a altura da parede; pingadeiras; execução de parede de arranque; calçadas rente a parede; drenos; aplicação de hidrofugante na superfície da parede; impermeabilização da fundação; entre outros.

Se comparada com as técnicas construtivas consideradas convencionais, os resultados do estudo demonstram a viabilidade e os benefícios na adoção dessa técnica, devido a utilização de materiais locais, com a redução de custos no serviço de mobilização e desmobilização, segurança tanto para os profissionais envolvidos no processo de construção, quanto para seus usuários, se apresentando como uma das possibilidades de construção de menor impacto ambiental.

6.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos a serem desenvolvidos a partir deste, há os seguintes:

- Análise com outros teores de areia para a estabilização do solo, visando aumentar a energia modificada de compactação.
- Análise com adição de estabilizantes químicos no solo, visando aumentar a energia modificada de compactação.
- Comparação dos resultados da energia modificada de compactação entre o corpo de prova feito em laboratório e a parede de taipa de pilão feita em campo (paredes full-scale).
- Análise de resistência à compressão com outros diâmetros e alturas de corpos de prova.
- Comparação dos resultados do ensaio de cisalhamento entre o corpo de prova feito em laboratório e a parede de taipa de pilão feita em campo.
- Análise da durabilidade e da capilaridade das amostras, para entender a densidade e a porosidade desse material, por meio do teste de gotejamento, a fim de preservar a integridade do sistema construtivo contra a ação das intempéries e prever o emprego de impermeabilizantes.
- Análise comparativa de técnicas de construções com terra, como o pau-a-pique e o adobe, que também são consideradas construções de menor impacto

ambiental e são comumente utilizadas em Minas Gerais, ampliando o incentivo a construções de menor impacto ambiental e a possibilidade de Santa Rita do Sapucaí em se tornar uma cidade inteligente.

REFERÊNCIAS

- Agência Minas. (2021). **Minas segue como maior produtor de café no Brasil, responsável por 46% da safra 2021**. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/minas-segue-como-maior-produtor-de-cafe-no-brasil-responsavel-por-46-da-safra-2021>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- AMARAL, Cláudio Silveira; MINTO, Fernando Cesar Negrini; LELIS, Natália. (2021). **A terra como arquitetura na construção de possibilidades: aspectos, experiências e desafios da arquitetura de terra no Brasil**. Arq.urb, No. 32, p. 32–41, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37916/arq.urb.vi32.541>. Acesso em: 05 ago. 2023.
- ARANTES, Paulo Tadeu Leite. **Creative City, Happy City: Lessons from a creative and collaborative ecosystem in a small Brazilian town**. [Local de publicação não fornecido], [s.d.]. Disponível em: https://www.academia.edu/12470982/Creative_City_Happy_City_lessons_from_a_creative_and_collaborative_ecosystem_in_a_small_Brazilian_town. Acesso em: 21 jan. 2023.
- ArchDaily Brasil. **Casa Colinas / FATO Arquitetura**. Piracicaba, São Paulo, 2014. Disponível em https://www.archdaily.com.br/br/759523/casa-colinas-fato-arquitetura?ad_source=search&ad_medium=projects_tab/. Acesso em: 29 out. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7215: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 12025: Solo-cimento: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos: Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 17014: Taipa de pilão - Requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro, 2022.
- ÁVILA, Fernando; PUERTAS, Esther; GALLEGOS, Rafael. **Experimental evaluation of the optimum lime content and strength development of lime-stabilized rammed earth**. Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas., Vol. 9, No. 3, 2021. Disponível em: <https://www.witpress.com/Secure/ejournals/papers/CMEM090305f.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2024.
- BARRETO, Paulo Thedin. **Casas de Câmara e Cadeia**. Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, ed. N°11. Rio de Janeiro: Ministério da Educação e Saúde, 1947.

BBC Brasil. (2017). **As (outras) mulheres brasileiras sobre quem deveríamos aprender na escola.** Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/salasocial-39462016>. Acesso em: 24 ago. 2023.

BRAGA, Márcia. **Conservação e restauro: Arquitetura brasileira.** Rio de Janeiro: Editora Rio, 2003.

BSI Group. (s.d.). **Knowledge Powers the Smart City.** Disponível em: <https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/Built-Environment-Blog/knowledge-powers-the-smart-city/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Câmara Municipal de Santa Rita do Sapucaí. (s.d.). **Vereadores aprovam criação do Museu do Café e reconhecem empreendedoras rurais.** Disponível em: <https://www.santaritadodosapucaimg.br/sala-de-imprensa/noticias/vereadores-aprovam-criacao-do-museu-do-caffe-e-reconhecem-empendedoras-rurais>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Centre International de la Construction en Terre (CRATERRE). (s.d.). **Geographie: Architecture de terre dans le monde.** Disponível em: <http://craterre.org/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery/ctl/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Cidade Criativa Cidade Feliz. (s.d.). **Sobre nós.** Disponível em: <https://cidadecriativacidadefeliz.com.br/sobre-nos/>. Acesso em: 21 jan. 2023.

Cidades Saudáveis. (2020). **Requisitos OMS.** Disponível em: <https://cidadessaudaveis.org/requisitos-oms/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMED). **Nosso Futuro Comum.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas (FGV), 1991.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). (s.d.). **Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável.** Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, África do Sul, 2002. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/decpol.pdf>. Acesso em: 28 out. 2022.

Connected Smart Cities. (2021). **Por que a sustentabilidade é importante para o desenvolvimento de cidades inteligentes?** Disponível em: <https://portal.connectedsmartcities.com.br/2021/05/28/por-que-a-sustentabilidade-e-importante-para-o-desenvolvimento-de-cidades-inteligentes/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). (s.d.). **Sobre CBCS.** Disponível em <<http://www.cbcs.org.br/website/institucional/show.asp?ppgCode=BCCF20BC-8628-4D3D-83ED-FBA37CFA560D/>>. Acesso em: 28 out. 2022.

CORRÊA, Andréa A. R.; MENDES, Lourival M.; TONOLI, Gustavo H. D. **Caracterização de solo de Lavras-MG para produção de adobe.** IV Congresso de arquitetura e construção com terra no brasil. TerraBrasil, 2012. Disponível em <<http://redeterrabrasil.net.br/publicacoes/>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

COSTA, Camila Pereira. **Aspectos de conservação preventiva da Basílica de Nossa Senhora do Pilar em Ouro Preto.** Ouro Preto, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://restauro.ouropreto.ifmg.edu.br/tcc-2016/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Deputado Federal Bilac Pinto. (2021). **Deputado Federal Bilac Pinto participa da inauguração da primeira escola municipal bilíngue de Minas Gerais.** Disponível em: http://www.bilacpinto.com.br/index.php?option=com_k2&view=item&id=1623:deputado-federal-bilac-pinto-participa-da-inauguracao-da-primeira-escola-municipal-bilingue-de-minas-gerais&Itemid=435. Acesso em: 24 ago. 2023.

Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa (ETE FMC). (s.d.). **História.** Disponível em: <https://www.edefmc.com.br/institucional-historia>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa (ETE FMC). (s.d.). **Institucional: História - Sinhá Moreira.** Disponível em: <https://www.edefmc.com.br/institucional-historia-sinha-moreira>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa (ETE FMC). (s.d.). **Usina Solar Padre Furusawa.** Disponível em: <https://www.edefmc.com.br/usina-solar>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa (ETE FMC). (2015). **Sinhá Moreira e sua mais importante obra são citadas na revista Veja.** Disponível em: <https://www.edefmc.com.br/noticia-09-03-2015-sinha-moreira-e-sua-mais-importante-obra-sao-citadas-na-revista-veja>. Acesso em: 24 ago. 2023.

FERNANDES, Maria. **Técnicas de construção em terra.** 10ª Mesa Redonda de Primavera - terra: forma de construir. Universidade de Coimbra, 2006.

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). (2010). **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais. Minas Gerais.** Disponível em: <http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/mapa-de-solos/>. Acesso em: 29 out. 2022.

G1. (2019). **Sinhá Moreira: conheça a história da mulher que rompeu barreiras e foi pioneira na eletrônica no Brasil.** Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2019/09/06/sinha-moreira-conheca-a-historia-da-mulher-que-rompeu-barreiras-e-foi-pioneira-na-eletronica-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 24 ago. 2023.

HANCKE, Gerhard P.; HANCKE Jr, Gerhard P. **The role of advanced sensing in smart cities.** Sensors, v. 13, n. 1, p. 393-425, 2012.

HEISE, André Faleiros; MINTO, Fernando Cesar Negrini. **Recolocação contemporânea da terra como material de construção.** ANAP, Tupã, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.estantedaanap.org/product-page/arquitetura-e-constru%C3%A7%C3%A3o-com-terra-no-brasil>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Inovação Sebrae Minas. (2017). **Como Santa Rita do Sapucaí está gerando novos empregos.** Disponível em: <https://inovacaosebraeminas.com.br/como-santa-rita-do-sapuca-i-esta-gerando-novos-empregos/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010). **Santa Rita do Sapucaí, MG.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/santa-rita-do-sapuca-i.html>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010). **Panorama: Santa Rita do Sapucaí, MG.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santa-rita-do-sapucaí/panorama>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). **O barroco no Brasil.** Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, No. 19, 1984. Disponível em <<http://docvirt.com/docreader.net/DocReader.aspx?bib=reviphan&id=5936008883482&pagfis=7481/>>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). (2019). **Inatel recebe pesquisadores do Brasil e do exterior para reunião do projeto 5G Range.** Disponível em: <https://inatel.br/imprensa/noticias/pesquisa-e-inovacao/3305-inatel-recebe-pesquisadores-do-brasil-e-do-exterior-para-reuniao-do-projeto-5g-range>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). (2021). **INATEL e Prefeitura de Santa Rita do Sapucaí definem ações do projeto Cidades Inteligentes.** Disponível em: <https://inatel.br/imprensa/noticias/negocios/3526-inatel-e-prefeitura-de-santa-rita-do-sapucaí-definem-acoes-do-projeto-cidades-inteligentes>. Acesso em: 21 jan. 2023.

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). (2022). **Implantação do aplicativo Cidadão Online em Santa Rita do Sapucaí integra ações do projeto Cidades Inteligentes.** Disponível em: <https://inatel.br/imprensa/noticias/negocios/3659-implantacao-do-aplicativo-cidadao-online-em-santa-rita-do-sapucaí-integra-acoes-do-projeto-cidades-inteligentes>. Acesso em: 21 jan. 2023.

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). (2022). **INATEL celebra primeiro ano de usina fotovoltaica com 50% de economia no consumo.** Disponível em: <https://inatel.br/imprensa/noticias/pesquisa-e-inovacao/3696-inatel-celebra-primeiro-ano-de-usina-fotovoltaica-com-50-de-economia-no-consumo>. Acesso em: 21 jan. 2023.

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). (2022). **Novo espaço de coworking da incubadora do Inatel está aberto ao público interessado em inovação e validação de novas ideias.** Disponível em: <https://inatel.br/imprensa/noticias/empreendedorismo/3680-novo-espaco-de-coworking-da-incubadora-do-inatel-esta-aberto-ao-publico-interessado-em-inovacao-e-validacao-de-novas-ideias>. Acesso em: 21 jan. 2023.

KANAN, Maria Isabel. **Distribuição territorial de edificações históricas de terra.** ANAP, Tupã, São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www.estantedaanap.org/product-page/arquitetura-e-constru%C3%A7%C3%A3o-com-terra-no-brasil>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

KARIYAWASAM, K.K.G.K.D.; JAYASINGHE, C. **Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material.** Construction and Building Materials, No. 105, p. 519–527, 2016.

KATINSKY, Julio Roberto. **Casas Bandeiristas: nascimento e reconhecimento da arte em São Paulo.** São Paulo. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, 1972.

MARANHO, Milena Fernandes. **Um panorama da arquitetura de terra brasileira sob a ótica histórica.** ANAP, Tupã, São Paulo, 2022. Disponível em:

<https://www.estantedaanap.org/product-page/arquitetura-e-constru%C3%A7%C3%A3o-com-terra-no-brasil>. Acesso em: 07 jun. 2022.

MENDES, Ludmila Cardoso Fagundes; BESSA, Sofia Araújo Lima. **Análise da Evolução Tecnológica da Taipa de Pilão Contemporânea**. IX Sustentável, No. 8(1), p. 66–77, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.66-77>. Acesso em: 02 set. 2023.

Ministério das Cidades. (s.d.). **Carta Brasileira para Cidades Inteligentes**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-urbano/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes>. Acesso em: 24 ago. 2023.

MINKE, Gernot. **Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture**. Birkhäuser: Editores de Arquitetura, 2006.

NEVES, C.; FARIA, O. B. (Orgs.). (2011). **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA. 79 p. il. ISBN 978-85-64472-00-6.

NEVES, Célia; MARANHO, Milena Fernandes; LELIS, Natália; FARIA, Obede Borges. **Arquitetura e construção com terra no Brasil**. Tupã: ANAP, 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/81341732/Arquitetura_e_Constru%C3%A7%C3%A3o_com_Terra_no_Brasil?auto=download. Acesso em: 23 ago. 2023.

Portal da Cidade - Santa Rita do Sapucaí. (s.d.). **Santa Rita do Sapucaí ganha reconhecimento do Ministério do Turismo**. Disponível em: <https://santaritadospucai.portaldacidade.com/noticias/turismo/santa-rita-do-sapuca-i-ganha-reconhecimento-do-ministerio-do-turismo-5449>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Prefeitura Municipal de Curitiba. (2022). **Curitiba tem ações inovadoras de sustentabilidade em diversas frentes**. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-tem-acoes-inovadoras-de-sustentabilidade-em-diversas-frentes/64063>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí. (s.d.). **O Vale da Eletrônica**. Disponível em: <https://pmsrs.mg.gov.br/o-vale-da-eletronica/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí (PMSRS). (2022). **População de Santa Rita do Sapucaí passa a contar com uso de aplicativo para solicitar serviços públicos**. Disponível em: <https://pmsrs.mg.gov.br/populacao-de-santa-rita-do-sapuca-i-passa-a-contar-com-uso-de-aplicativo-para-solicitar-servicos-publicos/>. Acesso em: 22 jan. 2023.

Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí. (2022). **Santa Rita do Sapucaí é finalista do Prêmio Sebrae Prefeito Empreendedor**. Disponível em: <https://pmsrs.mg.gov.br/santa-rita-do-sapuca-i-e-finalista-do-premio-sebrae-prefeito-empendedor/>. Acesso em: 02 set. 2023.

Prefeitura Municipal de Santa Rita do Sapucaí (PMSRS). (2022). **Sistema de monitoramento de frota para todos os 140 veículos da rede pública municipal**. Disponível em: <https://pmsrs.mg.gov.br/sistema-de-monitoramento-de-frota-para-todos-os-140-veiculos-da-rede-publica-municipal/#:~:text=A%20Prefeitura%20de%20Santa%20Rita,toda%20a%20frota%20do%20munic%C3%ADpio..> Acesso em: 22 jan. 2023.

REDDY, B. V. Venkatarama; JAGADISH, K. S. **The static compaction of soils**. Géotechnique 43, No. 2, 1993, pp. 337-341. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245410978>. Acesso em: 05 out. 2023.

Revista Oeste. (2020). **Brasil tem Vale da Eletrônica em Minas Gerais**. Disponível em: <https://revistaoeste.com/tecnologia/brasil-tem-vale-da-eletronica-em-minas-gerais/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

REZENDE, Marco Antonio Penido de. **Taipa de pilão histórica: roteiro para reconstituição**. Arquitetura Revista, vol. 8, No. 2, 2012, p. 101-107. Universidade do Vale do Rio dos Sinos São Leopoldo, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193625014002>. Acesso em: 05 nov. 2022.

Sistema Mineiro de Inovação (SIMI). (2019). **Projeto do Inatel vai transformar Santa Rita do Sapucaí em uma SmartCity**. Disponível em: <https://simi.mg.gov.br/projeto-do-inatel-vai-transformar-santa-rita-do-sapucaí-em-uma-smartcity/>. Acesso em: 21 jan. 2023.

SOUZA, Bernardo Alves Moraes de. **Inteligência competitiva aplicada aos arranjos produtivos locais: o caso de Santa Rita do Sapucaí**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro/Escola de Governo Prof.º Paulo Neves de Carvalho, 2009.

STEENBOCK, Gisele Elisa. **Caminhos contemporâneos da taipa de pilão no Brasil: um experimento realizado em tempos de pandemia COVID-19**. Curitiba, Paraná, 2021. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/73747/>. Acesso em: 29 out. 2022.

STEENBOCK, Gisele Elisa; TAVARES, Sergio Fernando. **Taipa de pilão: do vernacular à mecanização. Panorama mundial e brasileiro**. Arquitectos, São Paulo, No. 263.07, Vitruvius, abr. 2022. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/22.263/8454>. Acesso em: 15 jul. 2023.

Sucesu Minas. (s.d.). **Conheça o Vale da Eletrônica localizado na cidade de Santa Rita do Sapucaí**. Disponível em: <https://www.sucesuminas.org.br/conheca-o-vale-da-eletronica-localizado-na-cidade-de-santa-rita-do-sapucaí/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Taipal Brasil. (2023). **Detalhes Construtivos da Taipa**. Disponível em: <https://www.taipal.com.br/detalhes-construtivos/>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Universidade Federal de Viçosa (UFV); Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC); Universidade Federal de Lavras (UFLA); Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

Urban Systems. (2022). **Curitiba (PR) é a cidade mais inteligente e conectada do País, segundo Ranking Connected Smart Cities edição 2022**. Disponível em: https://blog.urbansystems.com.br/curitiba-pr-e-a-cidade-mais-inteligente-e-conectada-do-pais-segundo-ranking-connected-smart-cities-edicao-2022/?utm_campaign=blog_t245_redacao&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 15 ago. 2022.

Urban Systems. **Ranking connected smart cities**. No. 8, 2022. Disponível em: https://conteudo.urbansystems.com.br/csc_urban_atual. Acesso em: 15 ago. 2022.

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura no Brasil: Sistemas Construtivos**. Universidade Federal de Minas Gerais, 1979.