

DIÁRIO DE PESQUISA CIENTÍFICA



# REVISTA SAMAYONGA

ISSN: 0504 - 0035

EDIÇÃO: 2023-002

## ÁREAS

1

CIÊNCIAS TÉCNICAS

2

CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO

3

CIÊNCIAS MÉDICAS

ISSN 0504-0035

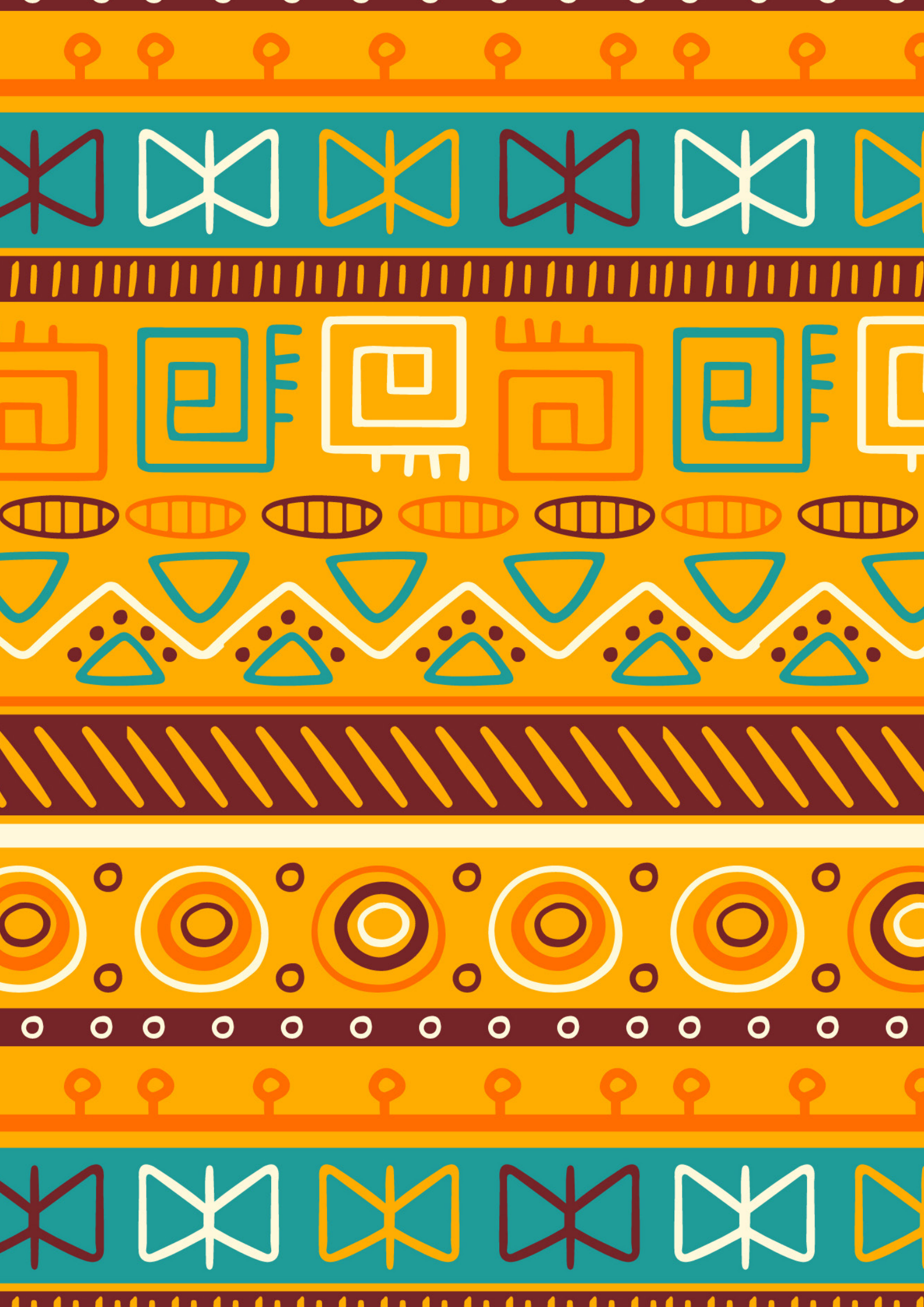


9 770504 003142



MWANA PWO EDITORA









# REVISTA SAMAYONGA

DIÁRIO DE PESQUISA CIENTÍFICA

## **FICHA TÉCNICA**

### **Editor Chefe**

Dr. JORGE RUFINO

(Universidade Agostinho Neto, Universidade Jean Piaget de Angola)

### **Conselho editorial**

Presidente – Dr. C Francisca Manuela Martins Wille

(Universidade Jean Piaget de Angola)

Dr. C Vicente Eugenio León Hernández

(Universidade de Pinar del Rio)

Dr. C Albano Ferreira

(Universidade Katyavala Bwila)

Dr. C Filomena de Jesus Francisco Correia Filho Sacomboio

(Instituto Superior para as Tecnologias da Informação e Comunicação)

Dr. C Klaus- Dieter Gerhard Wille

Dr. C Ivan Machado

(Universidade de Santa Clara)

### **Revisão**

Msc. Imaculada Esperança Lourenço Domingos

(Universidade Jean Piaget de Angola)

### **Equipe Técnica**

Elias Clemente Gongga

Eng. Flávio Geremias Miguel Clemente

Eng. Henriques Gededias Cambelele Quimuanga

### **Paginação & Designer**

Vanilson Cristóvão

**Revista técnico-científica Samayonga [recurso eletrônico].  
Nº. 02 (Jun. 2023). - Luanda.**

**Periodo: Semestral**

**ISSN 0504-0035**

**1. Ciências Técnicas. 2. Ciência da Educação. 3. Ciências Médicas**

# REVISTA SAMAYONGA

DIÁRIO DE PESQUISA CIENTÍFICA





## BEM VINDO A REVISTA SAMAYONGA

*Estimado colegas*

A revista Samayonga que agora sai a segunda edição no mercado angolano académico e científico, vai continuar a preencher as grandes lacunas, que as produções e publicações se denominam.

A revista Samayonga vai continuar a ter como objectivo principal a divulgação de trabalhar com:

- Trabalho de fim do curso de licenciatura
- Trabalhos relacionados a pedagogia, sociologia e outros fins
- Investigação de projetos científicos e académicos das áreas da engenharia, medicina e pedagogia

A RICS conta com um corpo editorial de 12 membros, todos com bastantes experiências de mais 20 anos em educação superior na investigação em publicações em revista internacionais. As contribuições enviadas são submetidas a revisão a pares interna e externas e se garante a sua imparcialidade mediante a dupla cega. Os nossos corpos de árbitros fazem parte de uma rede de professores angolanos do ensino superior que podem recomendar com base na norma de revisão.

Neste quesito recomendamos que o envio dos trabalhos deve ser realizado por nosso e-mail: [secretariageral@ciap-samayonga.co.ao](mailto:secretariageral@ciap-samayonga.co.ao) assim como as normas devem ser consultada nas nossas páginas web: [www.ciap-samayonga.co.ao](http://www.ciap-samayonga.co.ao)

Esperamos que esta revista continue a poder preencher o grande vazio que Angola ainda tem no Ranking do mundo da ciência e da academia.

Luanda, aos 20 de Junho de 2023

O editor Chefe

Drº. Jorge Rufino



# SUMÁRIO

**04** EDITORIAL

**09** ARTIGOS

**11** Material ligante alternativo para construção nas condições climáticas tropicais  
prevalecentes em Angola.







**ARTIGOS**



# Material ligante alternativo para construção nas condições climáticas tropicais prevalentes em Angola.

**Autor: Dr. Eng. Jorge Rufino**

**E-mail:** joanamiguel1942@gmail.com

**Universidade Agostino Neto.**

ORCID: 0000-0002-5251-827X

**Autor: Dr. Eng. Iván Machado**

**E-mail:** im6552582@gmail.com

**Universidade Central Marta Abreu de Las Villas.**

Centro de Investigación e Desenvolvimento de Estruturas e Materiais (CIDEM).

ORCID: 0000-0003-3866-0859

## RESUMO

O material de solo argiloso pode contribuir para o melhor desempenho do património em construção tendo em conta aspetos relacionados com a sustentabilidade dos materiais, uma vez que a produção de cimento Portland contribui significativamente para a emissão de gases com efeito de estufa, a redução do fator clínquer pela aplicação formulações que considerem os recursos locais podem melhorar a qualidade e a sustentabilidade dos edifícios.

Descreve-se a obtenção de pozolanas a partir da combustão controlada de fontes de biomassa, como casca de palmeira africana e cana-de-açúcar, quando misturadas em determinadas proporções com solo e cal. O material argiloso também é um recurso historicamente utilizado pelos habitantes de áreas rurais, este trabalho também se refere ao potencial de uso da argila quando ela é ativada termicamente como pozolana.

São apresentadas propostas que contribuem para a melhoria dos materiais e a qualidade das novas construções.

**Palavras-chave:** Reatividade pozolânica, Material argiloso, Solo estabilizado.

## INTRODUÇÃO:

Atualmente, a maioria da população de Angola faz uso intensivo de material argiloso do solo para a construção das suas habitações; No entanto, apesar das raízes históricas desta tecnologia, existe um desconhecimento das formas adequadas para a sua construção, o que provoca a utilização incorreta deste recurso natural existente no território, desperdício de materiais e impactos na durabilidade, por nem sempre ter em conta tendo em conta o regime climático da zona (Rufino, J. 2012, 2020).

Por isso é conveniente estudar procedimentos e materiais que melhorem o processo de construção habitacional, para ajudar a mitigar o défice habitacional existente no país, salienta-se que o barro é um recurso de relativa abundância no país, como por exemplo, Figura 1 mostra o mapa geológico da região de Luanda onde se destaca a existência de volumes significativos do recurso.

Neste sentido, o material argiloso proveniente do solo com um determinado tratamento (estabilizado ou modificado mecanicamente ou termicamente) é ratificado como um material que pode contribuir para o melhor desempenho do património em construção (Sensi, 2003). No entanto, também devem ser levados em consideração aspectos relacionados ao custo de materiais e moradia (Viñuales, G. 2007, Saroza 2000), por isso é desejável usar materiais locais, sendo a transformação da biomassa local uma fonte potencial de elemento estabilizador para construção com terra.



Figura 1: Mapa geológico da região de Luanda. As jazidas de calcário e argila disponíveis são utilizadas no fabrico de clínquer/CPO pelas fábricas instaladas na zona. Fonte: Serviço Geológico Nacional.



A construção de casas com materiais alternativos é uma forma que contribui para melhorar o déficit habitacional, para o qual a escolha dos materiais e tecnologia construtiva deve ser orientada para a disponibilidade do conhecimento local e aceitação da população para que os problemas de qualidade e durabilidade do fundo habitacional são melhorados, na figura 2 é mostrada uma casa típica afetada por problemas de projeto e má aplicação de materiais.



Figura 2: Deteriorações que afetam a durabilidade do património edificado devido a um dimensionamento inadequado, impermeabilização e proteção deficientes contra a chuva, má aderência do material de reboco, etc.  
Fonte: self-made

Avaliar o aproveitamento das cinzas da combustão controlada dos resíduos do manejo da palma africana e do bagaço da cana-de-açúcar para utilização como material pozolânico estabilizador do solo e aglutinante para a construção de casas, bem como a análise da proposta da utilização de material argiloso tratado termicamente constitui o objetivo deste trabalho, através da reutilização de recursos endógenos existentes em várias regiões de Angola.

No ano de 2022, estima-se que a produção mundial de óleo de palma atinja valores mundiais de 79.000 milhões de toneladas, das quais Angola participa com cerca de 55.000 toneladas métricas. Esta pesquisa também busca contribuir para a redução do impacto ambiental causado pelo acúmulo de cascas de palmeiras. africana (589 mil toneladas) e bagaço de cana-de-açúcar (936 mil toneladas) (USIDA 2022) dando valor agregado a esses materiais, ao serem usados como pozolanas para obter um material compósito de valor econômico adequado e propriedades adequadas como material de construção. .

O solo possui um importante grupo de vantagens como material de construção, entre elas, o fato de ser um material inócuo, não conter nenhuma substância tóxica, ser reciclável e de fácil obtenção local com baixo gasto energético. Nesse sentido, o estudo dos depósitos de material argiloso localmente disponível e sua modificação térmica pode fornecer às comunidades uma pozolana adequada, que em combinação com o cimento portland comum (CPO), pode contribuir para a construção sustentável de residências e outras edificações.

Actualmente, a produção nacional de CPO em Angola está estimada em 8 milhões de toneladas por ano, o que garante a auto-suficiência do mercado nacional a partir das fábricas existentes (Cimangola I e II, Secil Lobito, China International Fund Angola, Cuanza Sul e outras ) com preço médio de um saco de 50 quilos de 1200 / 1400 kwansas.

No entanto, associado aos processos de fabricação de cimento, grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são liberadas na atmosfera. Estima-se que sejam emitidas entre 0,65 - 0,90 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de cimento fabricado, emissões que podem ser significativamente reduzidas através da redução do factor clínquer,

que se consegue com a utilização de materiais cimentícios suplementares (MCS). (Almenares. 2017.)

Nesse sentido, as MCS com maiores possibilidades de mitigação ambiental podem ser argilas calcinadas ou argilas termicamente ativadas (AAT), extensas pesquisas relatam o desenvolvimento do “Cimento de Baixo Carbono”. (CBC) também conhecido como “Low Carbon Cement” (LC3) tendo demonstrado as suas elevadas qualidades físico-mecânicas e durabilidade, esta nova formulação consegue substituições de clínquer até 50%, reduzindo consequentemente as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera ao reduzir o consumo de energia (Scrivener K. 2017), Martirena F. 2011, Luigi J. 2021).

Outro aspecto de maior interesse no enquadramento deste trabalho é a possibilidade, considerando as fontes locais de argila distribuídas por todo o território nacional, abordar o desenvolvimento e montagem de uma pequena unidade industrial que contribua para a resolução do problema habitacional com base na materiais de alta qualidade e custos acessíveis para a maioria da população distante dos grandes centros urbanos.

Neste trabalho são expostos alguns elementos do projeto de uma pequena fábrica para a produção de CBC que pode ser instalada próxima às fontes de matéria-prima existentes no entorno de vários assentamentos em expansão e desenvolvimento. A Figura 3 apresenta o esquema básico do processo de tratamento do material argiloso, destacando-se o forno rotativo e o moinho de bolas, principais equipamentos tecnológicos da usina.

O dimensionamento da instalação para modificação térmica do material argiloso depende da produtividade esperada do forno rotativo, que é diretamente proporcional ao custo de investimento inicial do projeto como um todo, é possível dependendo do fluxo de produção que precisa do forno rotativo e os custos da instalação, que podem servir de base para a tomada de decisão na hora de projetar um novo estabelecimento, parâmetros que são apresentados de forma comparativa neste trabalho.

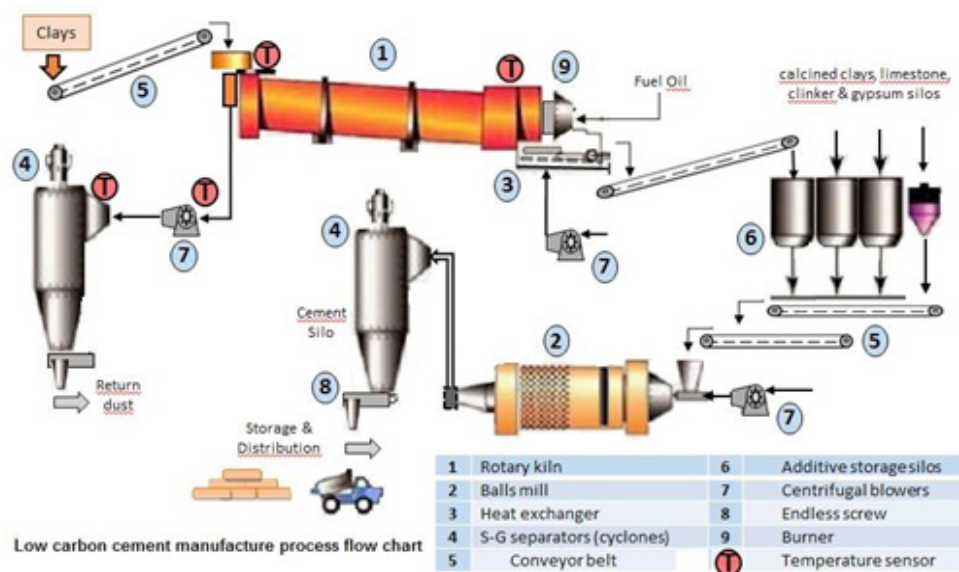


Figura 3: Fluxo tecnológico do processo de obtenção de argilas reativas e cimento de baixo carbono. Fonte: Machado L.I. (2019).

## DESENVOLVIMENTO

São apresentados resultados laboratoriais ao nível macroestrutural, que indicam que a mistura de solo argiloso contendo as cinzas provenientes da combustão controlada dos resíduos em estudo actuando com cal comum (resultando num ligante pozolânico), apresenta resultados satisfatórios.

No presente trabalho também é realizada a análise para obtenção de pozolanas a partir do material argiloso presente em diversas regiões do país estabelecendo uma pequena indústria que possa fornecer ligantes CPO - pozolana a partir da ativação térmica do material argiloso com o consequente aumento de o material ligante disponível, a melhoria da qualidade das construções e a melhoria ambiental.

### Material e métodos

É utilizado material argiloso da província angolana do Uíge (retirado aleatoriamente de vários locais próximos dos assentamentos actualmente em construção), que, uma vez examinados através de um conjunto de práticas do campo tátil-visual propostas por diversos autores (Minke 2001; Saroza 2006; Gomes 2009), apresentou qualidades adequadas para a elaboração de elementos para construção habitacional.

O solo foi caracterizado na sua forma natural, de acordo com os testes realizados, os depósitos têm um comportamento plástico, predominantemente argilosos arenosos, de cor castanha clara que apresentam uma elevada percentagem de carbonatos, a sua principal utilização é na produção local de tijolos de adobe e tijolos vermelhos cozidos, a tabela 1 mostra a composição química do material argiloso.

Pérdida por Ignición %	28.84
Óxido de Silicio %	27.64
Óxido de Hierro III %	3.61
Óxido de Calcio %	36.21
Óxido de Magnesio %	2.59
Trióxido de Azufre %	0.2
Óxido de Aluminio %	1.06
Carbonato de Calcio %	64.45
Carbonato de Magnesio %	5.44
Sales Solubles Totales %	89.62
PH	7.5
Cloruro de Sodio %	0.03
Carbonatos Totales %	69.89

Tabela 1 Composição química

### – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (BCA) e casca da palma africana (CPA).

As amostras de palma africana do bagaço da cana-de-açúcar, que foram utilizadas nos experimentos, são provenientes do município de Candombe Grande, Uíge Angola, onde existem duas grandes plantações e duas pequenas indústrias açucareiras, além de diversas empresas petrolíferas, que, em 2011 produziram 589 mil toneladas de pedra e 936 mil toneladas de bagaço de cana-de-açúcar (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010), são fontes locais baratas e abundantes, que poderiam constituir possíveis estabilizadores de solo, para os quais foram preliminarmente selecionados, pois, como outros resíduos agrícolas, não têm destino atribuído neste momento.

Esses resíduos agrícolas são transformados em cinzas (figura 3), para as quais foram submetidos a um processo de calcinação nas temperaturas de 600.700 e 800°C, por um período de 120 minutos. Os níveis das variáveis temperatura e tempo foram medidos de acordo com os critérios de vários autores (Sosa 1994; Ferreira 2009; Alexander 2010; Machado 2011).

Todas as cinzas obtidas foram moídas em moinho Cole Casper 89550-10, a uma velocidade entre 188 e 208 rad/minuto (30 e 33 r.p.m.); um número total de 500 voltas foi definido. Completado o número prescrito de voltas, o material foi descarregado do cilindro e a amostra foi peneirada em peneira nº 200.



Figura 4 Der.) Cinza de palmiste africano, Izq.) Cinza de bagaço de cana



Os ensaios de caracterização das cinzas foram realizados no Instituto Eduardo Torroja, Espanha, no laboratório Cimangola (empresa cimenteira angolana) e nos laboratórios da Empresa Nacional de Investigação Aplicada (ENIA), Cuba.

Nesta fase, as condições de combustão da biomassa são determinadas a nível laboratorial, o que garante uma reatividade pozolânica das cinzas de fontes locais de biomassa: Estes testes foram realizados com a colaboração de especialistas e técnicos do Instituto Eduardo Torrojas de Madrid. , Espanha.

Como método experimental, a calcinação é assumida em diferentes temperaturas (600, 700 e 800 OC) em uma mufla com controle de tempo de calcinação, que é definido para 2 horas. Os limites das variáveis de tempo e temperatura são retirados das recomendações dadas pela literatura consultada. As matérias-primas calcinadas são extraídas do forno e resfriadas à temperatura ambiente de forma a preservar as alterações morfológicas e transformações que possam ter sofrido por efeito de o tratamento. térmico. A avaliação da atividade pozolânica das cinzas é realizada de acordo com a norma europeia EN – 450 (equivalente a ASTM C111), fluorescência de raios X (XRF), difração de raios X (XRD).

## **ANÁLISE E RESULTADOS**

### **– Avaliação do material calcinado. Composição química e reatividade pozolânica.**

Sabe-se que a atividade pozolânica depende fundamentalmente da presença dos óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e, em menor grau,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e de seu amorfismo, pois na forma cristalina são altamente estáveis sem apresentar reatividade pozolânica, a composição química das cinzas, que reflete, segundo o teor dos principais óxidos, um comportamento potencialmente pozolânico, sendo notável o baixo teor de carbono, o que denota um processo de incineração de biomassa adequado.

Os resultados da avaliação da reatividade pozolânica, neste caso a cinza de palmiste africano incinerado a 800 OC apresenta a maior reatividade, seguida pelas cinzas obtidas a 700 OC, o que indica a influência da temperatura de calcinação e a tendência da reatividade pozolânica aumentar com o tempo,

Os resultados da caracterização mostram que a reatividade das diferentes amostras de cinzas obtidas apresentam diferenças significativas principalmente em função da temperatura de calcinação, porém a análise do consumo de  $\text{CaO}$  mostra reatividade para todas as amostras bem acima do estipulado pela norma (150 g  $\square$  g), os resultados validam o uso de cinza de palmiste e também de bagaço de cana-de-açúcar para as temperaturas de calcinação especificadas. Da mesma forma, os resultados do TG praticado em cinza de palmiste (3,68% de perda de peso por ignição) e cinza de bagaço de cana (4,5% de perda de peso por ignição), que é um índice de que o material está em boas condições. Nos resultados das análises realizadas por Difração de Raios X (DRX) em ambas as cinzas, foi evidenciada a presença de componentes como feldspato e quartzo

De acordo com ASTM C 618-92a, a cinza utilizada classifica como uma pozolana tipo F (MASSAZZA 1998; Minke 2001) porque contém mais de 70% dos principais óxidos  $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  (Ver tabela 2) e uma perda em ignição inferior a 6%.

### – Avaliação do ligante cal - cinzas (CPA, CBA)

O programa experimental prevê a elaboração de ligantes cal-pozolana a partir das cinzas de reatividade adequada de CPA e BCA obtidas e verificadas neste trabalho. A cal hidratada foi adquirida na rede comercial de Candombe Grande, Uíge; Segundo sua ficha técnica, possui pureza de 90%, os resíduos máximos na peneira de 0,2 mm são inferiores a 10%, com resistência à compressão aos 28 dias de 45 Kg/cm<sup>2</sup>.

O trabalho experimental foi realizado em nível de laboratório, o comportamento de cinzas de casca de palma e bagaço de cana atuando com cal como aglutinantes pozolânicos

(estabilizadores) usados para a elaboração de adobes e rebocos é estudado, com o qual Melhoraas propriedades físico-mecânicas e durabilidade desses materiais e a qualidade das edificações.

Para obter a mistura solo - ligante - cal - pozolana, procede-se com a adição de água ao material a melhorar ou estabilizar, deixando-se repousar 24 horas para que a água adicionada seja totalmente incorporada no seu componente argiloso. Posteriormente, esse solo úmido foi amassado e adicionado o estabilizador da caixa de acordo com o desenho das misturas. (veja a figura 5) os ensaios de resistência foram confeccionados tubos de ensaio de formato cilíndrico com dimensões de 50 mm de diâmetro por 130 mm de altura (ver figura 5.1), decisão que se deve ao fato de o laboratório possuir moldes de aço removíveis, equipamento profissional (ELE International press com capacidade para 5 toneladas, equipada com anéis dinamométricos calibrados e células de teste apropriadas) e sistemas de cálculo de ensaios de compressão axial para corpos de prova cilíndricos.

Para o teste de gotejamento, foram confeccionados objetos de teste na forma de ladrilhos quadrados com dimensões de 200 mm x 200 mm x 20 mm



Figura 5 Mistura preparada (à direita). Figura 5.1 (Esquerda) Espécimes cilíndricos prontos para testes de compressão.

### – Design experimental. Caracterização estatística.

Os fatores considerados no desenho do experimento foram delimitados da seguinte forma: as porcentagens de cinzas tanto da casca da palma africana quanto da cinza do bagaço da cana-de-açúcar foram trabalhadas em 3 níveis: baixo, médio e alto (4%, 5% e 6%);, ver tabela 3, considera-se avaliar a influência dos fatores delimitados em cada uma das variáveis de resposta e estabelecer a dosagem mais adequada, a combinação de fatores e níveis resulta na elaboração de 18 amostras diferentes. O seguinte é obtido no experimento como resposta ou variáveis dependentes:

– Relacionado a propriedades físico-mecânicas, resistência à compressão.

– Relacionado à durabilidade, absorção capilar.

Uma vez trabalhada cada série de acordo com os testes acima referidos, calculou-se a média de cada uma delas, o desvio padrão, a variância, entre outras estatísticas. Em seguida, foi realizada a análise de tendência (Trend Graphs) para cada uma das variáveis de resposta (para os valores médios de cada um dos resultados) e suas combinações. Finalmente, testes de hipóteses foram aplicados para avaliar a significância dos resultados.

Os resultados obtidos nos ensaios para o caso dos tubos de ensaio feitos com as misturas de 1 a 15 apresentaram resultados desfavoráveis, não atendendo aos requisitos de resistência estabelecidos de no mínimo 1,00 MPa e durabilidade estabelecidos para elementos de adobe, portanto, foram descartados e trabalhar somente com as misturas que apresentaram comportamento favorável (Misturas 0, 16, 17,18).

Tabela 3. Desenho experimental à escala laboratorial.

Descrip	Solo	Cal	CPA	BCA	Agua	Descrip	Solo	Cal	CPA	BCA	Agua
<b>AM 0</b>	100%				22%	<b>AM 9</b>	94%			6%	22%
<b>AM 1</b>	98%	2%			22%	<b>AM 10</b>	94%	2%	4%		22%
<b>AM 2</b>	97%	3%			22%	<b>AM 11</b>	92%	3%	5%		22%
<b>AM 3</b>	95%	5%			22%	<b>AM 12</b>	89%	5%	6%		22%
<b>AM 4</b>	96%		4%		22%	<b>AM 13</b>	94%	2%		4%	22%
<b>AM 5</b>	95%		5%		22%	<b>AM 14</b>	92%	3%		5%	22%
<b>AM 6</b>	94%		6%		22%	<b>AM 15</b>	89%	5%		6%	22%
<b>AM 7</b>	96%			4%	22%	<b>AM 16</b>	90%	2%	4%	4%	22%
<b>AM 8</b>	95%			5%	22%	<b>AM 17</b>	87%	3%	5%	5%	22%
						<b>AM 18</b>	82%	5%	6%	6%	22%

### – Teste de resistência à compressão e absorção capilar.

A Figura 6 mostra os resultados do comportamento da variável resistência à compressão para as diferentes amostras, onde de forma geral observa-se que todas as misturas propostas atenderam satisfatoriamente ao requisito de resistência de no mínimo 1,00 MPa (E.080 2006), resultados acima mostram que as proporções de 3% de cal + 5% de cinza de palmiste + 5% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar garantem o melhor desempenho do ponto de vista da resistência mecânica.

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção capilar são consistentes com os obtidos na resistência à compressão. No caso dos corpos de prova fabricados como amostra controle (Amostra 0), ao final do ensaio eles se desintegraram devido ao seu amolecimento. O comportamento apresentado pelas amostras 16, 17 e 18 foi bem diferente daquele, onde o parâmetro de absorção teve sua elevação, para todas as misturas, entre 21 e 28 dias de cura. , geralmente diminuindo no final da secagem (45 dias), os cilindros feitos com as misturas 16 e 17 apresentaram os menores valores de absorção dos três testados. Apresentaram um comportamento favorável, apresentando diferenças significativas para as feitas nas mesmas condições de fabricação, porém sem adição, exceto para a amostra 18, onde seu desempenho é um pouco inferior ao restante das amostras.

Maiores valores de resistência à compressão foram obtidos com a mistura 17 principalmente durante os períodos de 21 a 28 dias de secagem. Todos os valores de resistência à compressão apresentaram queda de resistência após 45 dias de secagem, porém apenas o traço 18 apresentou resultado inferior a 1,00 Mpa.

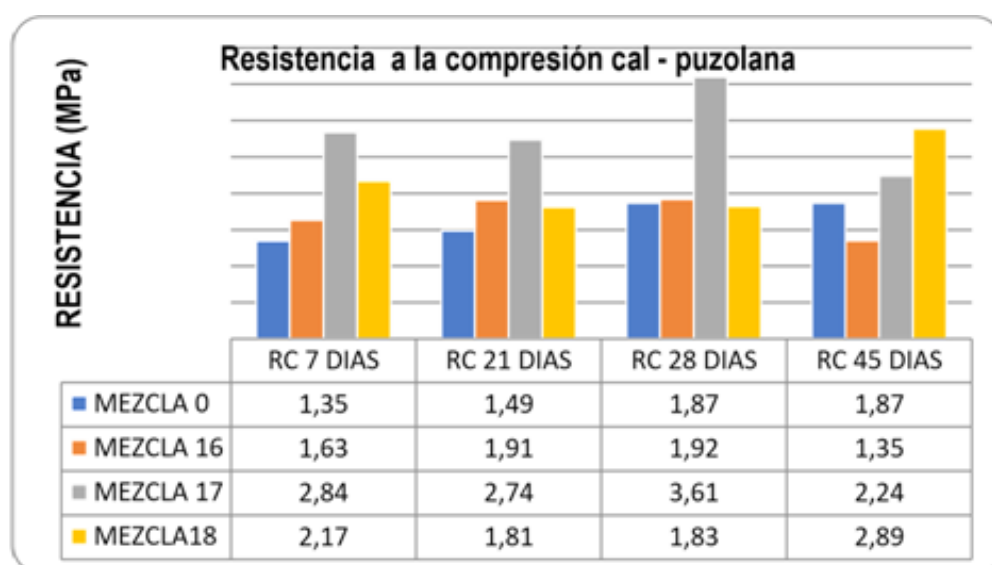


Figura 6 Gráfico de tendência de resistência à compressão de amostras feitas de aglutinante de cal-pozolana

Os resultados acima mostram que as proporções de 3% de cal + 5% de cinza de palmiste + 5% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar garantem o melhor comportamento do ponto de vista de resistência mecânica e adsorção capilar.



## - Aglutinante de material argiloso com reatividade pozolânica

Os problemas de qualidade detectados nas edificações da área de estudo mostram que em muitos casos as propriedades conferidas pelas misturas cal-cinza previamente expostas podem não ser suficientes, pelo que é desejável a utilização de ligantes que possam oferecer melhor desempenho, mas igualmente sustentáveis e amigável ao meio ambiente. Nesse sentido, o CPO é o ligante mais universal e difundido na sociedade moderna atual, no entanto, sua fabricação intensiva causa danos ambientais significativos, por isso é desejável o uso de variantes que possam mitigar efeitos indesejados.

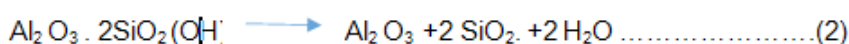
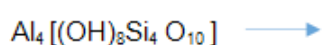
A literatura consultada relata o desenvolvimento de um cimento de baixo carbono ou LC3 (low carbon cement) que reduz significativamente o fator clínquer ao criar um produto ternário à base de material argiloso submetido a modificação térmica, obtendo um material com alta reatividade pozolânica. , a fabricação de LC3 requer níveis de energia significativamente inferiores ao CPO, o que reduz significativamente as emissões de CO<sub>2</sub>, ao mesmo tempo que reduz os custos, neste trabalho é proposta a instalação na área de estudo de uma pequena central, sendo os habitantes da área um grupo com grande experiência na área uso de materiais argilosos como material de construção aplicado em várias variantes.

Alguns elementos do projeto de uma pequena planta piloto e da elaboração de estimativas técnicas econômicas são expostos neste trabalho; Com a obtenção de pequenas produções, é possível adequar o processo às matérias-primas em estudo. Essas pequenas fábricas conscientemente replicadas podem equivaler a investir em uma grande fábrica de cimento, com a prerrogativa adicional de permitir que as pequenas fábricas se localizem em vários locais .onde houver matéria-prima, contribuindo para o desenvolvimento local da indústria produtora de materiais de construção.

Ressalta-se que o material argiloso deve apresentar valor equivalente de caulinita superior a 40% e deve ser submetido a um conjunto de testes para confirmar sua idoneidade como precursor de um material com adequada reatividade pozolânica. A desidratação da argila é influenciada por fatores como o tipo de argilominerais, a natureza e quantidade de impurezas, o tamanho das partículas, o grau de cristalização das argilas, a atmosfera gasosa, entre outros.

O processo consiste basicamente em submeter o material argiloso a temperaturas entre 700 - 850 °C com as quais se consegue sua desidroxilação de acordo com as seguintes equações:

A planta é composta basicamente por um forno rotativo, que é alimentado por um fluxo de material natural calculado com base nas dimensões e produtividade esperadas dadas pelos estudos de pré-viabilidade que definem o valor provável do investimento inicial, igualmente importante para o seu custo. O moinho de bolas é um equipamento tecnológico essencial para pulverizar os componentes até os valores granulométricos regulamentados para cimento.



A planta possui transportadores, moegas, ciclones, chaminé, ventiladores, etc., porém a eficiência da instalação é determinada por um dimensionamento adequado do forno rotativo, portanto os custos de investimento da planta estão diretamente relacionados com a produtividade esperada e portanto com o diâmetro e comprimento do forno calcinador. O forno rotativo é constituído por um tubo cilíndrico apoiado em estações de rolamento, que possui uma certa inclinação em relação à horizontal e que gira em velocidades de rotação entre 1 e 3,5 rotações por minuto (rpm).

O cálculo dos diferentes parâmetros de projeto do forno é feito a partir da lei de transporte de material dentro de um tubo rotativo inclinado dada pelo US Bureau of Mines (Roberto 2005), que é expressa pela equação:

$$Q = 1,48 * n * Di^3 * \Phi * \rho a * \tan(\beta) \dots\dots\dots(3)$$

Onde: Q: capacidade de transporte por hora (kg/h), n: velocidade de rotação (r.p.m.), Di: diâmetro interno (m),  $\Phi$ : grau de enchimento,  $\rho$ : densidade do material,  $\beta$ : movimento do material resultante .

Transformado (1) é possível obter uma expressão para a determinação do diâmetro interno do forno rotativo de calcinação conforme (F. G. Colina 2016):

$$D = \sqrt{\frac{ws \cdot 4 \cdot t}{L \cdot gr \cdot \pi \cdot p}} \dots\dots\dots(4)$$

Onde: ws: Fluxo sólido (kg/min). L: Comprimento do forno (m). gr: Grau de enchimento do forno

(%). p: Inclinação do forno (em %). t: Tempo total de residência do material dentro do forno (min).

A partir das expressões matemáticas 3 e 4 é possível estimar a produtividade da instalação e com ela suas dimensões fundamentais que permitem explorar o mercado fornecedor deste equipamento tecnológico, uma pequena instalação para produção local de aproximadamente 200 kgs/hora poderia consistir em um forno de aproximadamente 5,5 metros de comprimento e diâmetro interno de aproximadamente 0,6 metros, essas dimensões e em correspondência com a expressão 3 garantem um tempo de residência de aproximadamente 55 minutos, suficiente para atingir a calcinação adequada do material para este nível de produção.

## CONCLUSÃO

O aproveitamento do resíduo de biomassa convertendo-o em uma pozolana adequada para ser utilizada na construção civil oferece uma solução adequada que contribui para a melhoria ambiental e para a qualidade e durabilidade das edificações da área de estudo.

O material argiloso termicamente modificado para potencializar sua reatividade pozolânica pode ser uma variante sustentável em correspondência com a cultura construtiva da área de estudo por ser capaz de atuar na proteção e redução da deterioração das edificações.

O projeto e instalação de uma planta de produção de cimento de baixo carbono pode ser dimensionado de acordo com as necessidades de produção local de ligante com uma planta eficiente do ponto de vista técnico econômico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **Associação Global de Cimento e Concreto GCCA.**

**Almenares, R. (2017).** Potencial das argilas cauliníticas cubanas para obtenção de de materiais cimentícios suplementares. Universidade Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara.

**Colina, F. G. e Colab. 2016.** Diseño básico de hornos rotatorios para el tratamiento de minerales. Ingeniería Química. Julio/ agosto 2016.

**De Sensi, B. “Terracruda, la diffusione dell’architettura di terra (solo, disseminação da arquitetura de terra)”. 2003** [Disponível em: [www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm](http://www.terracruda.com/architetturadiffusione.htm). citado em 2006]. J. Martirena, R. Fernandez, a Alujas, R. Castillo, K. Scrivener, Produção de argilas ativadas para materiais de construção de baixo custo em países em desenvolvimento, em: 13º Int. Congr. Chem.Cem., 2011: pp. 1–7.

**K. Scrivener, F. Martirena, S. Bishnoi, S. Maity,** cimentos de calcário de argila calcinada (LC3), Cem. Concr. Res. (2017) 0–1. doi:10.1016/j.cemconres.2017.

**Luigi Jorio Como o cimento finge ser ecológico 25 de março de 2021** <https://www.swissinfo.ch>

**USDA 2022.** produção agrícola mundial <http://www.produccionagricolamundial>

**Machado L. I. e colab.** Estimativa de parâmetros de forno rotativo para uma planta de produção de cimento de baixo carbono. Congresso Internacional de Pesquisa e Inovação. México. 2020 ISSN 2448-6035.

**Machado L. I.** Considerações para o balanço de energia e projeto preliminar de uma Planta Piloto de Cimento LC3 experimental. I Conferência Internacional sobre Produção e Uso Sustentável de Cimento e Concreto. RILEM Bookseries, ISBN 978-3-030-22033-4, página 3 – 10. 2019, Cuba. MASSAZZA, F. e. (1998). “Pozzolan and Pozzolan Cements: Chapter 10. in.” “Lea’s Chemistry of Cement and Concrete”.

**Minke, G. (2001).** Manual de construcción en tierra. U. d. Kasell. Alemania.

**Recuperado:** [https://www.researchgate.net/profile/Roger\\_Samuel\\_Reyes/](https://www.researchgate.net/profile/Roger_Samuel_Reyes/).

**Rufino, J. et ai. Materiais de construção alternativos para a construção de casas em países de clima tropical.** Congresso Internacional de Pesquisa e Inovação. México. 2020 ISSN 2448-6035. Rufino, J. 2012. Seleção de materiais, misturas e tecnologias construtivas com solo estabilizado para melhorar a qualidade das habitações construídas pela população do território do Uíge, Angola. Tese apresentada como opção para obtenção do grau científico de doutor em ciências. A Havana.

**Rufino, J. Melhorias na construção de moradias com o uso correto de solo estabilizado em Angola.** Revista de Engenharia de Construção. 2012.

**Rufino, J.** Enquadramento e caracterização das tradições construtivas de habitação no território do Uíge em Angola. Determinação do potencial dos recursos técnicos,

materiais, ambientais e humanos existentes. Instituto de Ciências da Construção “Eduardo Torroja” 2012.

**Saroza, B.**, “Experiências da estabilização do adobe com cal, asfalto, cimento e mel de cana”, em 4º. Simpósio Internacional de Est. Geotecnia e Mat. Const. 2000: Santa Clara Cuba.

**Viñuales, G.**, “Tecnologia e construção com terra”. Revista de Estudos do Patrimônio Cultural. . 2, Portugal, 2007, p. pág. 220-231.



MWANA PWQ EDITORA

