

Entre

CIENCIA

e

INGENIERIA

4

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)



Entre

CIENCIA

e

INGENIERIA

4

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E61 Entre ciencia e ingenieria 4 / Organizador Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0586-3
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.863221910>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizador). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Entre Ciencia e Ingenieria 4” é uma obra que compreende os processos sob os quais se desenvolve, aplica e divulga a ciência, tecnologia e a inovação. Seu objetivo consiste em difundir trabalhos científicos que abrange diversos campos da Ciência e Engenharia que compõem os capítulos.

O volume abordará de forma categorizada e clara pesquisas e publicações com o objetivo central de analisar processos que possam ser utilizáveis em projetos e/ou trabalhos futuros. Além disso, apresenta uma análise ao desenvolvimento de temáticas que envolvem a saúde pública e coletiva, área das engenharias e ciência.

Desta forma, esse material se torna bem interessante por constituir temas, conhecimentos acadêmicos desenvolvidos e discutidos por diversas instituições de ensino e pesquisa do país e fora do país. Por isso, para necessária compreensão comum e explicitar trabalhos de forma altamente eficaz, a Atena Editora é capaz de oferecer e difundir a transferência de conhecimento com os mais debates centrados da liderança da ciência e engenharia com esta mais nova coleção.

Amanda Fernandes Pereira da Silva


SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ACTIVIDAD ANTI-CHIKUNGUNYA DE LOS ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS VERBENACEAE, PIPERACEAE, POACEAE, LAMIACEAE, LAURACEAE Y MYRTACEAE: ESTUDIOS DE DOCKING MOLECULAR

Liliana Amparo Betancur-Galvis

Orlando José Jiménez Jarava

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219101>

CAPÍTULO 2..... 24

CATALYTIC PYROLYSIS OF WASTE EXPANDED POLYSTYRENE TO OBTAIN STYRENE

Gerardo Pérez-Bravo


José Luis Contreras Larios

Jorge Francisco Rodríguez

Beatriz Zeifert

Tamara Vázquez Rodríguez

Jesús Eduardo Estrada Pérez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219102>

CAPÍTULO 3..... 37


EL GÉNERO Y SU IMPACTO EN EL NIVEL DE BURNOUT DE LOS DIRECTIVOS DE MIPYMES DE ALIMENTOS Y BEBIDAS EN EL ESTADO DE SONORA

Jesús Martín Cadena Badilla

Arturo Vega-Robles

Agustín Mejías Acosta

Joaquín Vásquez Quiroga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219103>

CAPÍTULO 4..... 53

ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE LOS RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE GEOPOLÍMEROS PARA USO EM HORMIGÓN

Laryssa Oliveira Bento

Thamila Barroso de Moura Alves

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Crisnam Kariny da Silva Veloso

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219104>

CAPÍTULO 5..... 62

ANÁLISIS MORFODINÁMICO DEL RÍO SINÚ ANTES Y DESPUES DE LA OPERACIÓN DE URRÁ I

Germán Vargas Cuervo


David Leonardo Valbuena Gaviria

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219105>

CAPÍTULO 6..... 80

MEJORA DE PROCESO APLICANDO HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA


Esteban Rubio Ochoa
Laura Isela Padilla Iracheta
Jaime Eduardo Trejo Aguirre
Irving Torres Quezada
Jesús Eduardo Ramírez Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219106>

CAPÍTULO 7..... 92

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA MÓVIL ENFOCADA A UN ROBOT DE RESCATE


Martha Isabel Aguilera Hernández
Juan Antonio Algarín Pinto
Daniel Medina Romero
Manuel Ortiz Salazar
José Luis Ortiz Simón
Raúl Francisco Aguilera Hernández
Gustavo Rojo Velázquez
Daniel Olivares Caballero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219107>

CAPÍTULO 8..... 110

PROYECTO MERCURIO CERO. REMOCIÓN DE MERCURIO MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN, EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO ARZOBISPO CUENCA MEDIA


Luis Eduardo Peña Prieto
Adriana Alméciga Gómez
Rafael Meza Benitez
Xiomara Jiménez Muñoz
Johanna Bonilla

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219108>

CAPÍTULO 9..... 123

REDUCTION OF WORKPLACE ACCIDENT RATES USING MATHEMATICAL STATISTICAL MODELS

Ramón A. Pons Murguía
Eulalia M. Villa González Del Pino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8632219109>

CAPÍTULO 10..... 130

SYSTEM MODELING RESEARCH PROJECT OF STUDENT'S GRADE POINT AVERAGE

Juan Carlos González-Castolo
Silvia Ramos-Cabral
Sara Catalina Hernández-Gallardo
Manuel Prieto-Méndez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.86322191010>

SOBRE A ORGANIZADORA.....	145
ÍNDICE REMISSIVO.....	146

ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE LOS RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE GEOPOLÍMEROS PARA USO EM HORMIGÓN

Data de aceite: 03/10/2022

Data de submissão: 02/10/2022

Laryssa Oliveira Bento

Universidade Estadual do Maranhão
Bacabal – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5660871261959403>

Thamila Barroso de Moura Alves

Universidade Estadual do Maranhão
Bacabal – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5051879178810600>

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Engenheira Civil
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/6687283757018503>

Crisnam Kariny da Silva Veloso

Engenheira Civil
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/3377864410594838>

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/7625882727010720>

RESUMEN: Debido a que la industria de la construcción es uno de los sectores más importantes de la economía, es necesario estudiar nuevos materiales que puedan ser utilizados, con el fin de preservar los recursos naturales y, así, reducir los impactos ambientales causados en la producción de concreto, haciéndolo el más sostenible. Un material que ha demostrado

tener un potencial ecológico con características cementosas y que reduce los impactos ambientales es el geopolímero, que puede utilizarse en sustitución del cemento Portland. A partir de este contexto, esta investigación aborda con detenimiento algunos de los principales residuos que son aprovechables en la producción de este cemento alternativo, lo que contribuirá a la difusión del conocimiento y servirá de base para futuras investigaciones. Para ello, se realizará un análisis crítico de la producción bibliográfica relevante en los últimos años sobre los principales residuos que pueden ser utilizados como precursores en la producción de geopolímeros.

PALABRAS CLAVE: Activación alcalina, Compuestos de cemento, Materiales alternativos, Geopolimerización.

ESTUDO ACERCA DA APLICABILIDADE DE RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETOS

RESUMO: Pelo fato da indústria da construção civil ser um dos setores mais importantes da economia, é necessário o estudo de novos materiais que possam ser empregues, afim de preservar os recursos naturais e, assim, reduzir os impactos ambientais provocados na produção de concreto tornando-o mais sustentável. Um material que tem se mostrado com um potencial ecológico com características cimentícias e que reduz impactos ambientais é o geopolímero, o qual pode vir a ser utilizado em substituição ao cimento Portland. A partir deste contexto, essa

pesquisa aborda, de forma criteriosa, alguns dos principais resíduos que são utilizáveis na produção desse cimento alternativo, a qual contribuirá para a disseminação de conhecimento e servirá de base para pesquisas futuras. Para isso, será feita uma análise crítica da produção bibliográfica relevante dos últimos anos acerca dos principais resíduos que podem ser utilizados como precursores na produção de geopolímeros.

PALAVRAS-CHAVE: Ativação alcalina, Compósitos cimentícios, Materiais alternativos, Geopolimerização.

STUDY ABOUT THE APPLICABILITY OF WASTE IN THE PRODCUTION OF GEOPOLYMERS FOR USE IN CONCRETE

ABSTRACT: Because the construction industry is one of the most important sectors of the economy, it is necessary to study new materials that can be used in order to preserve natural resources and thus reduce the environmental impacts caused by the production of concrete. more sustainable. A material that has been shown to have an ecological potential with cementitious characteristics and which reduces environmental impacts is geopolymer, which can be used as a replacement for Portland cement. From this context, this research carefully addresses some of the main residues that are usable in the production of this alternative cement, which will contribute to the dissemination of knowledge and serve as a basis for future research. For this, a critical analysis of the relevant bibliographic production of recent years will be made about the main residues that can be used as precursors in the production of geopolymers.

KEYWORDS: Alkaline activation, Cementitious composites, Alternative materials, Geopolymerization.

1 | INTRODUÇÃO

Es indiscutible que, desde una perspectiva global, “desarrollo sostenible” es un término que se menciona con frecuencia hoy en día, ya que las consecuencias ambientales de la mala gestión de los recursos naturales del mundo están siendo sentidas por todos de manera más concreta y visible. Dado que la construcción civil es una parte importante de los problemas que viene sufriendo el medio ambiente, es imperativo desarrollar técnicas y materiales menos agresivos, pero que aporten versatilidad de usos y propiedades (SCHEIFER; CALLEJAS, 2021).

Una actividad de la construcción que genera grandes impactos ambientales y sociales es la fabricación de cemento Portland, debido al alto consumo de energía y materias primas, además de la gran producción de dióxido de carbono (CO_2). Según Maury y Blumenschein (2012), esta actividad genera impactos ambientales y sociales, afectando directamente la salud humana desde la extracción de la materia prima, generando degradación del medio natural, hasta la fase de clinkerización, emitiendo fuertes concentraciones de gases de efecto invernadero.

Con esto en mente, se buscan materiales que puedan reemplazar al cemento Portland. Una opción viable es la aplicación de geopolímeros, que son polímeros inorgánicos

con estructuras tridimensionales de Si-O-Al sintetizados a partir de aluminosilicatos que pueden disolverse en un medio alcalino, es decir, una mezcla de precursor, activador y agua. Siendo una alternativa ecológicamente correcta al cemento Portland tradicional, ya que su producción utiliza menos energía, emite menos gases de efecto invernadero y tiene una mayor durabilidad (AYGORMEZ; CANPOLAT; AL-MASHHADANI, 2020).

Como sustituto del cemento Portland común, los materiales geopoliméricos tienen propiedades similares a los materiales a base de cemento, y actualmente están vinculados a la investigación de productos con propiedades favorables para reemplazar los materiales a base de cemento y son atractivos en el mercado. La palabra “geopolímero” se refiere a productos derivados de reacciones específicas entre aluminosilicatos sólidos y soluciones acuosas de silicatos o hidróxidos de metales alcalinos (ZHANG *et al.*, 2016).

Los materiales utilizados para la obtención de los geopolímeros pueden ser compuestos industrializados (caolín y metacaolín), subproductos de procesos industriales (cenizas volantes y escorias siderúrgicas) o subproductos agroindustriales (cenizas de cascarilla de arroz, cenizas de aceite de palma, etc.). Entre las mencionadas, la ceniza de residuos agrícolas es la más utilizada. Esto se debe al bajo costo de estos recursos renovables, la disponibilidad real y la excelente reactividad de estas cenizas residuales en la mezcla de concreto (ATAIE; RIDING, 2016).

Los estudios actuales demuestran la posibilidad de utilizar geopolímeros en la construcción civil, ya que tienen la propiedad de ser un ligante activado por solución alcalina, mejorando el comportamiento mecánico y la durabilidad del hormigón (AYGORMEZ; CANPOLAT; AL-MASHHADANI, 2020). Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar investigaciones que abordan los principales residuos utilizados para la fabricación de hormigón geopolimérico, discutir las soluciones alcalinas utilizadas y los resultados alcanzados con las diferentes pruebas aplicadas. El fundamento se basó en información sobre activación alcalina de residuos y aplicación en compuestos cementosos, buscando artículos publicados en las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Web of Science utilizando las palabras clave geopolímeros, geopolímero cemento, activación alcalina, geopolimerización y hormigón.

2 | FABRICACIÓN DE GEOPOLIMEROS

Para la producción de geopolímeros se necesita una fuente de aluminosilicatos y una fuente acuosa de silicato o hidróxido alcalino. En teoría, cualquier material que contenga aluminio y sílice tiene el potencial de ser una fuente de aluminosilicato en el proceso de geopolimerización. La fuente de aluminosilicato se puede obtener directamente de la naturaleza, como en el caso del mineral caolín, o se pueden utilizar residuos industriales (FORNASA, 2017).

Generalmente, los materiales calcinados, las cenizas volantes, el metacaolín y

la escoria son amorfos (no muestran un ordenamiento de largo alcance). Esto hace que presenten, durante la geopolimerización, una mayor reactividad, similar a los materiales que no son calcinados, provocada por el hecho de que la calcinación activa cambia la estructura cristalina a amorfa en los materiales, consecutivamente con la acumulación de energía complementaria. En cuanto a la construcción civil, los geopolímeros de metacaolín son muy porosos y pueden requerir mucha agua y, por lo tanto, volverse muy blandos para este tipo de aplicación. Sin embargo, son importantes en las utilidades de adhesivos, recubrimientos e hidrocerámicas (MAJIDI, 2009).

Los principales factores que influyen en las propiedades del hormigón geopolimérico están relacionados con el tipo de ligante utilizado, la condición de curado y la molaridad de la solución activadora. Las activaciones alcalinas más utilizadas en el mercado para la producción de geopolímeros son el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH). En la mayoría de las investigaciones, el hidróxido de sodio es el más utilizado, ya que tiene un costo de producción mucho menor (GANESH; MUTHUKANNAN, 2021).

El tipo de material utilizado como activador químico y la cantidad de iones hidroxilo disponibles en la solución después del contacto con el agua influyen en el desarrollo de la resistencia del geopolímero producido, por lo tanto, al aumentar la concentración molar se obtiene una mayor resistencia. Para Komnitsas y Zaharaki (2007) el exceso de activador puede formar carbonato de sodio en contacto con el aire, provocando eflorescencias en la matriz del geopolímero.

La Figura 1 presenta un modelo resumido del mecanismo de geopolimerización. En el primer paso, al aumentar el pH de la solución, se rompen los enlaces Si-O-Si, Al-O-Si y Al-O-Al, dando como resultado una fase coloidal. Durante el proceso de gelificación, primero se forma un gel rico en alúmina, que luego se transforma en una segunda capa de gel rico en sílice, responsable de aumentar la resistencia mecánica. Después de la gelificación, el sistema continúa reorganizándose a medida que aumenta la conectividad de la red de gel, lo que resulta en la formación de redes tridimensionales de aluminosilicatos típicamente atribuidas a los geopolímeros (DUXSON *et al.*, 2007).

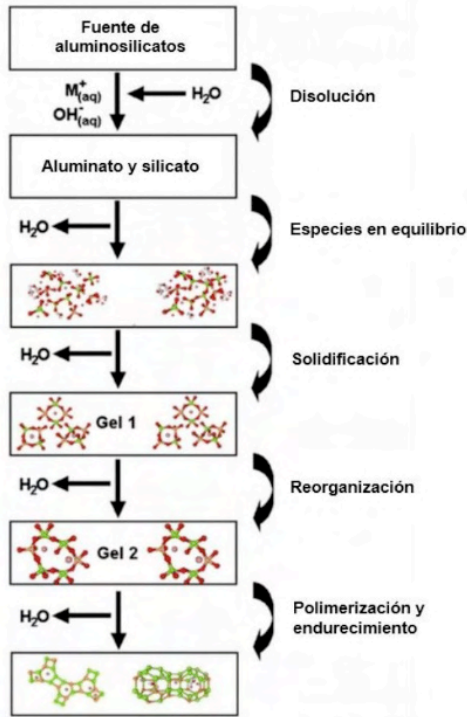


Figura 1 – Esquema representativo del proceso de geopolimerización.

Fuente: Traducido de DUXSON *et al.*, 2007.

3 | PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS

3.1 Metacaolín

El metacaolín es un material aluminosilicato térmicamente activado, con alta actividad puzolánica, generado por la calcinación de arcillas caoliníticas a temperaturas entre 650 °C y 800 °C, dependiendo de la pureza y cristalinidad de las arcillas (LI; SUN; LI, 2010). La figura 2 muestra las materias primas utilizadas en el proceso de producción de hormigón geopolímero con metacaolín.



Figura 2 – Materias primas utilizadas en la producción de hormigón geopolímero con metacaolín.

Fuente: Traducid de ABBAS *et al.*, 2020.

En un estudio, Azevedo, Strecker y Lombardi (2018) explican sobre la producción de geopolímeros utilizando metacaolín y cerámica roja con solución activadora de hidróxido de sodio y silicato de sodio. Se estudiaron dos sistemas, uno a base de metacaolín y otro con la sustitución del 50% del metacaolín por cerámica roja. Los ensayos mostraron que el sistema a base de metacaolín presentó mejores propiedades físicas y mecánicas, como mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado, menor porosidad y menor absorción de agua. En comparación, el sistema con reemplazo de parte del metacaolín no trajo beneficios significativos, ya que obtuvo valores de resistencia más bajos y una estructura más favorable a la aparición de microfisuras, con mayor porosidad y mayor absorción de agua, sin embargo, las partículas cerámicas adhesión favorecida del ligando, lo que hace posible su uso cauteloso.

Paralelamente a esto, Frasson, pelisser y Silva (2020) analizaron fisuras de hormigón reparadas con cemento geopolimérico a base de metacaolín con solución activadora a partir de la disolución de hidróxido de sodio en silicato de sodio. El ensayo consistió en la producción de probetas que simulaban grietas en caras paralelas y opuestas, disponiendo además de un molde sin grietas para comparación. La reparación consistió en secar y limpiar los moldes, y rellenar las grietas por gravedad con el geopolímero. Los resultados mostraron que la pasta geopolimérica fue eficiente en restaurar las propiedades mecánicas de los moldes, ya que su resistencia a la compresión fue mayor o equivalente a la del molde sin fisurarse. Además, se comprobó una buena adherencia entre los materiales, ya que la ruptura de la probeta se produjo en el sustrato. Tales resultados muestran el potencial de aplicación de los cementos geopoliméricos.

Además de las mejoras mencionadas por los estudios anteriores, también se observó la posibilidad de aplicar geopolímeros con fines de aislamiento térmico, a partir de la producción de geopolímeros de baja conductividad térmica a través de diferentes porcentajes de formadores de poros. En la fabricación del geopolímero se utilizó metacaolín y el activador alcalino compuesto por hidróxido de sodio y silicato de sodio, y como formador de poros se utilizó peróxido de hidrógeno. Experimentalmente se comprobó que el formador de poros influía directamente en el número y volumen de poros, además de modificar la microestructura del geopolímero. Por lo tanto, cuanto mayor sea el porcentaje de peróxido de hidrógeno, mayor será el área de poro, lo que reduce la resistencia a la compresión y aumenta la capacidad de absorción de agua. Además, fue posible producir geopolímeros con conductividad térmica inferior a $0,09 \text{ W/m.K}$, gracias al aumento de la porosidad (FELIZARDO *et al.*, 2016).

3.2 Ceniza voladora

Las cenizas volantes son un subproducto industrial de la combustión de carbón bituminoso o antracita formado con bajo contenido en calcio. Este material puede ser conocido como “ceniza de combustible pulverizado” y comprende partículas finas que son

el resultado de los gases de escape quemados que se forman en las centrales eléctricas (AZEVEDO *et al.*, 2017).

La composición química de los geopolímeros producidos es extremadamente importante para aumentar la resistencia mecánica y la trabajabilidad de los compuestos, según investigaciones (AZEVEDO *et al.*, 2017; AZEVEDO; STRECKER, 2017) con la producción de geopolímeros a través de cenizas volantes y diferentes activadores alcalinos, como Na_2O_3 , SiO_2 y H_2O , mezclando a temperatura ambiente y curando durante 24 horas a una temperatura de 65 °C. Se observó que las propiedades físicas cambian cuando se cambia la activación de la ceniza. La resistencia mecánica aumenta hasta 48 MPa después de 28 días. Además, estas muestras mostraron baja permeabilidad, menor absorción de agua y baja porosidad, así como una mayor densidad aparente, características requeridas en un buen ligante.

El estudio de Livi y Repette (2017) observó que la resistencia de una mezcla de geopolímeros a base de cenizas volantes depende de la asociación entre la temperatura de curado y la concentración de NaOH. Para ello se realizó el estudio de la concentración alcalina y la temperatura de curado en geopolímeros mezclando cenizas volantes con NaOH, variando la temperatura de curado de 65 °C a 85 °C. Así, se observó que al aumentar la concentración molar y la temperatura de curado aumenta la resistencia mecánica de los geopolímeros.

3.3 Subproductos agroindustriales y siderúrgicos

Entre los residuos generados por la agroindustria se encuentra la ceniza de cascarilla de arroz proveniente del proceso de procesamiento del arroz. Este residuo puede presentar altos porcentajes de sílice reactiva o amorfa luego del proceso de quema controlada de cascarilla de arroz, la cual es generalmente utilizada en construcción civil en morteros y hormigones debido a su propiedad puzolánica (BEZERRA *et al.*, 2011).

Varios estudios han evaluado el uso de este material en la síntesis de geopolímeros. Arnold *et al.* (2017) evaluaron el comportamiento de morteros geopoliméricos a base de ceniza de cascarilla de arroz. Apolonio *et al.* (2020) también observaron que a partir de la disolución de la sílice presente en la ceniza de cascarilla de arroz era posible producir silicato de sodio alternativo. Con esto se desarrollaron geopolímeros cuyas relaciones molares de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 3.0, 3.5 y 4.0 y con una concentración molar de NaOH de 8 y 10 Molar. En esta investigación se pudo concluir la factibilidad de utilizar ceniza de cascarilla de arroz para componer geopolímeros.

Como subproducto de la industria siderúrgica se obtiene la escoria, un material granulado con fase vítrea, compuesto básicamente por óxido de calcio, sílice y alúmina. Pereira, Ramos y Silva (2020) en su trabajo produjeron geopolímeros a partir de escoria procedente de la fabricación de acero convertidor de oxígeno. La activación se realizó con una solución alcalina de hidróxido de potasio (KOH) 8 Molar. Con esto se observó que el

comportamiento del geopolímero a partir de esta reacción tiene características admisibles para su uso en ingeniería.

4 | CONCLUSIÓN

El hormigón geopolímero es un hormigón único e innovador que se puede utilizar como una alternativa viable al hormigón convencional para minimizar los problemas ambientales que provoca su producción. Este artículo proporciona una revisión exhaustiva y conclusiones sobre los análisis de los estudios actuales sobre el hormigón elaborado a partir de subproductos industriales y agrícolas. De acuerdo con la investigación, se concluyó que el uso de residuos capaces de producir hormigones geopoliméricos como cenizas volantes, escorias, cenizas de cascarilla de arroz, caolín y metacaolín pueden ser activadores alternativos, cumpliendo los requisitos en cuanto a las propiedades que se espera utilizar dentro de la ámbito de la construcción civil. Por lo tanto, se debe destacar la investigación en esta área para el uso efectivo de los residuos industriales y agrícolas en el hormigón de cemento Portland.

REFERENCIAS

ABBAS, R.; KHEREBY, M. A.; GHORAB, H. Y.; ELKHOSHKHANY, N. **Preparation of geopolymer concrete using Egyptian kaolin clay and the study of its environmental effects and economic cost**. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 22, n. 1, p. 669–687, 2020.

APOLONIO, P. H.; LIMA, J. S.; MARINHO, E. P. NOBREGA, A. C. V.; FREITAS, J. C. O.; MARTINELLI, A. E. **Produção de geopolímeros utilizando cinza da casca de arroz como fonte complementar de sílica**. Cerâmica, v. 66, n. 1, p. 172-178, 2020.

ARNOLD, M. C.; VARGAS, A. S.; BIANCHINI, L. **Study of electric-arc furnace dust (EAFD) in fly ash and rice husk ash-based geopolymers**. Advanced Powder Technology, v. 28, n. 1, p. 2023-2034, 2017.

ATAIE, F. F.; RIDING, K. A. **Influence of agricultural residue ash on early cement hydration and chemical admixtures adsorption**. Construction and Building Materials, v. 106, n. 1, p. 274 – 281, 2016.

AYGORMEZ, Y.; CANPOLAT, O.; AL-MASHHADANI, M. M. **Assessment of geopolymer composites durability at one year age**. Journal of Building Engineering, v. 32, n. 1, 2020.

AZEVEDO, A. G. S.; STRECKER, K. **Influência da composição química das soluções alcalinas ativadoras na produção de geopolímeros a base de cinza volante**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 12, n.1, p. 39-46, 2017.

AZEVEDO, A. G. S.; STRECKER, K.; LOMBARDI, C. T. **Produção de geopolímeros à base de metacaulim e cerâmica vermelha**. Cerâmica, v. 64, n. 1, p. 388-396, 2018.

AZEVEDO, A. G.; STRECKER, K. ARAÚJO JR., A. G. SILVA, C. A. **Produção de geopolímeros à base de cinza volante usando soluções ativadoras com diferentes composições de Na₂O e Na₂SiO₃**. Cerâmica, v. 63, n. 1, p. 143-151, 2017.

BEZERRA, I. M. T.; SOUZA, J.; CARVALHO, J. B. Q.; NEVES, G. A. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 6, p. 639-645, 2011.

DUXSON, P.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PROVIS, J. L.; LUKEY, G. C.; PALOMO, A.; VAN DEVENTER, J. S. J. **Geopolymer technology: the current state of the art**. Journal of Materials Science, v. 42, n. 9, p. 2917–2933, 2007.

FELIZARDO, V.; NANDI, V. S.; DONADEL, K.; NOVAIS, R.; LABRINCHA, J.; ZACCARON, A. **Desenvolvimento de geopolímeros de baixa condutividade térmica**. Revista Matéria, v. 21, n. 2, p. 429-436, 2016.

FORNASA, B. L. **Utilização de concreto reciclado para a produção de geopolímero**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

FRASSON, B. J.; PELISSER, F.; SILVA, B. V. **Concrete crack repair analysis with metakaolin-based geopolymer cement**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 13, n. 2, p. 298-313, 2020.

GANESH, A. C.; MUTHUKANNAN, M. **Development of high performance sustainable optimized fiber reinforced geopolymer concrete and prediction of compressive strength**. Journal of Cleaner Production, v. 282, n. 1, 2021.

KOMNITSAS, K.; ZAHARAKI, D. **Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry**. Minerals Engineering, v. 20, n. 14, p. 1261-1277, 2007.

LI, C.; SUN, H.; LI, L. **A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cement**. Cement and Concrete Research, vol. 40, n. 1, p. 1341–1349, 2010.

LIVI, C. N.; REPETTE, W. L. **Effect of NaOH concentration and curing regime on geopolymer**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 10, n. 6, p. 1174-1181, 2017.

M. ZHANG, M. ZHAO, G. ZHANG, D. MANN, K. LUMSDEN, M. TAO. **Durability of red mudfly ash based geopolymer and leaching behavior of heavy metals in sulfuric acid solutions and deionized water**. Const. Build. Mat. v. 124, p. 373–382, 2016.

MAJIDI, B. **Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review**. Materials Technology, v. 24, n. 2, p. 79-87, 2009.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. **Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em Debate, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.

PEREIRA, A. P. S.; RAMOS, F. J.; SILVA, M. H. **Caracterização estrutural de geopolímeros sustentáveis de escória de aciaria LD e escória de aciaria LF com KOH**. Revista Matéria, v. 25, n. 3, 2020.

SCHEIFER, D.M., CALLEJAS, I. J. A. **Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil**. Revista Matéria, v. 26, n. 4, 2021.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Academic performance 130, 142, 143
Aceites esenciales 1, 2, 5, 7, 20, 21
Acoplamiento molecular 1, 4, 11
Activación alcalina 55
Agua residual 110, 111, 115, 117, 120, 121

C

Catalytic pyrolysis 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32
Chikungunya 1, 2, 3, 21, 22
Coagulación 110, 119
Compuestos cementosos 55
Concreto 53, 55, 61, 105, 145
Costos 80, 81, 82, 83, 117, 120, 121
Cultivo celular 3, 5, 6

E

Educational research 130
Eficiencia 51, 80, 81, 87, 88, 89
Electrocoagulación 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 121, 122
Estabilidad mecánica 92

F

Floculación 110, 119
Fundición 80, 81, 89, 90

G

Género 37, 38, 39, 40, 42, 44, 46, 48, 49, 52
Geología 62, 63, 64, 65, 67, 77, 79
Geomorfología 62, 63, 64, 65, 66, 69, 77, 78, 79
Geopolimerización 55, 56
Geopolímeros 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61
Grados de libertad 92, 94, 96, 100, 107, 108

I

Instrumento MBI 37, 45

L

Logistics models 123

M

Materiales alternativos 53

Mejora 80, 81, 89, 90, 130

Mercurio 110, 111, 115, 116, 117, 121, 122

MIPYMES 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 48, 49, 51, 52

Morfodinámica 62, 71, 72, 73

Multivariate statistics 123

N

Nivel de Burnout 37, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 48, 49

P

Performance improvement 123

Polymer 25, 26, 36

Polystyrene 24, 25, 26, 35, 36

Protocol formal description 130

R

Recycling 24, 25, 36

Reducción 4, 5, 6, 13, 62, 74, 75, 80, 81, 84, 112, 118

Regression models 123, 127, 131, 143

Rio Sinú 62, 65, 66, 67, 77, 78, 79

Robot de rescate 92, 93, 94, 96, 100, 101, 106, 108

S

Safety and Health Audits 123

Síndrome de Burnout 37, 39, 40, 42, 49

Sistemas mecánicos 92

Styrene 24, 25, 27, 30, 31, 35, 36

V

Virus 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 22

W

Waste 24, 25, 35, 36, 54

Workplace accidents 123, 129




Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Entre

CIENCIA

e

INGENIERIA

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 