



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT



GABRIELLI CRISTINA SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES AOS ESTUDOS DE CONCRETOS LEVE
COM ARGILA EXPANDIDA**

Trabalho Graduação e Estágio Supervisionado

Limeira
2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT



GABRIELLI CRISTINA SOUZA

CONTRIBUIÇÕES AOS ESTUDOS DE CONCRETOS LEVE COM ARGILA EXPANDIDA

Trabalho de Graduação Interdisciplinar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para a obtenção do título de Tecnólogo da Construção de Edifícios à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas.

Orientadora: Prof^a Dr^a Luísa Andréia Gachet

Limeira
2021

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Doutora Luisa Gachet, pela oportunidade e parceira em desenvolver esse trabalho de conclusão, pela contribuição dada para a conclusão da minha formação. E todos os professores com quem convivi nesses anos, muito obrigada pelo aprendizado.

Aos funcionários da FT, em especial aos meninos dos laboratórios, o Reginaldo, Emerson e Ivonei, que sempre estiveram de portas abertas.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram em não desistir da graduação, em especial à minha mãe, que sempre me esperava chegar em casa meia noite todos os dias, que me mostrou que todo esforço nunca é em vão.

Aos meus colegas de curso, Ana Polatto, Sheyla dos Reis e Pedro Muller, que foram fundamentais nos últimos anos, que tornaram a vivência da faculdade mais tranquila e que foram base de apoio nesta etapa, aos meus colegas que se tornaram amigos para a vida.

As amigas que Limeira me trouxe, Gabriela Caraski e Gabriella Macedo, duas pessoas maravilhosas que tive o prazer de conhecer em quando morei em Limeira, que com companheirismo e amizade, fizeram com que essa nova aventura fosse incrível, obrigada amigas!

Ao Vinicius, sou muito grata por tudo que fez e faz por mim.

À UNICAMP, por proporcionar uma experiência de vida que vai muito além de aulas.

Tô formada!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT.....	10
LISTA ABREVIATURAS	11
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
INTRODUÇÃO.....	14
1. OBJETIVO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. CONCRETO	16
2.1.1. TIPOS DE CONCRETO	16
2.1.2. CONCRETO LEVE	17
2.2. AGREGADOS.....	19
2.2.1. Agregado Leve.....	21
2.2.2. Argila Expandida	22
2.2.3 Adições minerais para concreto leve autoadensável.....	22
2.2.3.1. Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar	23
2.2.3.2. Sílica Ativa	26
2.2.3.3. Metacaulim.....	27
3. ESTUDO DE CASOS: Concreto Leve Utilizando Argila Expandida.....	28
3.1. Confeção de Concreto Estrutural Leve Substituindo Parte dos Agregados Graúdos por Argila Expandida por Barcelos et al. (2016)	28
3.2. Desempenhos Físico, Mecânico e Acústico de Compósitos Cimentícios com Agregados Leves por Alves et al. (2018).....	29
3.3. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve por Moncada et al. (2019)	30
4. CONCLUSÃO	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

Devido às suas características, de alta durabilidade, resistência, trabalhabilidade e facilidade de adaptações, a cada ano, o uso do concreto aumenta consideravelmente, bem como a utilização e exploração das matérias primas utilizadas. A constante necessidade de reduzir custos e otimizar processos, novos métodos e tecnologias vêm sendo exploradas e com o intuito de obter um concreto que apresente carga total atuante reduzida, bem como redução da massa específica, como alternativa surge o concreto leve.

Palavras Chave: Materiais de Construção, Concreto Leve, Argila Expandida, Adições minerais.

ABSTRACT

Due to its characteristics, high durability, strength, workability and ease of adaptation, the use of concrete increases considerably each year, as well as the use and exploitation of the raw materials used. With the constant need to reduce costs and optimize processes, new methods and technologies are being explored. In order to obtain a concrete that has reduced total acting load, as well as a reduction in specific mass, as an alternative, lightweight concrete appears.

Keywords: Building Materials, Lightweight Concrete, Expanded Clay.

LISTA ABREVIATURAS

CLA	Concreto Leve Autoadensável
CL	Concreto Leve
CAA	Concreto Autoadensável
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CBCA	Cinza de Bagaço de Cana de Açúcar
EPS	Poliestireno Expandido

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Com agregados leves

Figura 2 - Concreto celular

Figura 3 - Concreto sem finos

Figura 4 - Agregados Miúdos

Figura 5 - Agregados Graúdos de Diversas Granulometrias (Brita)

Figura 6 - Agregados Industrializados

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas e publicações técnicas que informam a massa específica do concreto leve

Tabela 2 - Normas e publicações técnicas que informam a massa específica do concreto leve

Tabela 3 - Composição química da Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBCA)

Tabela 4 – Resultados da adição de Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar com as porcentagens de substituição ou adição para produção de CAA

Tabela 5 – Resultados da adição de Sílica Ativa, propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos produzidos

Tabela 6 – Resultado da adição de Metacaulim, propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos produzidos

INTRODUÇÃO

O Concreto Leve Autoadensável (CLA) pode ser entendido como um concreto que no estado fresco comporta-se como um autoadensável e quando endurecido possui característica de concreto leve, ou seja, um concreto com massa específica seca inferior a 2.000kg/m³ segundo a ABNT NBR 12655/2015 (Amorim, 2016).

Os materiais adotados na composição do Concreto Leve Autoadensável são na maior parte os mesmos adotados no CAA convencional e no Concreto Leve comum, com alta quantidade de materiais finos, aglomerantes e adições minerais reativas ou não, plastificantes ou superplastificantes, aditivos modificadores de viscosidade, agregado miúdo natural ou artificial e agregado graúdo (Verzegnassi, 2015).

Consideradas essas semelhanças entre o CAA e o CL, é possível considerar que o CLA seja produzido seguindo os mesmos princípios e normas do CAA tradicional (Cui et al., 2010 apud Verzegnassi, 2015).

Para alcançar a leveza desejada no Concreto Leve Autoadensável, os agregados de massa convencional são substituídos em partes ou totalmente por agregados leves, de menor massa específica.

A ABNT NBR 12655/2015 classifica como agregado leve aquele que apresenta baixa massa específica ($\leq 2.000 \text{ kg/m}^3$). Os agregados leves podem ser de origem natural, quando são obtidos por meio da extração direta em jazidas, com posterior classificação granulométrica, ou podem ser artificiais, obtidos em processos industriais, classificados de acordo com a matéria prima utilizada e o processo de fabricação.

Levando em consideração que a dosagem do CAA convencional pode ser aplicado ao CLA (Verzegnassi, 2015), existem várias concepções que podem ser adotadas, sendo necessário adequações de acordo com a porcentagem e o tipo de agregado leve que será adotado, elaborando procedimentos de dosagem e produção ajustados ao Concreto Leve Autoadensável, sempre com o objetivo de alcançar um nível adequado de fluidez, estabilidade e capacidade de execução, a um menor custo (Borja, 2011).

De modo geral, a formulação de um Concreto Autoadensável e do Concreto Leve Autoadensável utiliza os mesmos princípios de um concreto convencional, apresentando a principal diferença na fluidez do material no estado fresco.

O emprego maior de finos e superplastificantes no CAA e CLA é o que confere a esses materiais a maior fluidez e capacidade de autoadensamento sem necessidade de ações externas.

A adição de finos provoca o aumento da resistência mecânica do concreto e o torna mais impermeável, aumentando sua vida útil e influenciando positivamente no concreto pelo efeito filler, com o preenchimento de espaços vazios (Gesoglu et al, 2011 apud Angelin, 2018). Por outro lado, o elevado teor de cimento e o baixo consumo de agregado graúdo provoca fissuração geradas por retração na secagem devido ao elevado calor de hidratação (Borja, 2011).

Os materiais finos podem ser diversos e devem ser escolhidos após análise técnica e econômica, tendo em vista que alguns podem ter origem em resíduos industriais e seu tratamento pode originar custos e gerar resíduos indesejáveis do ponto de vista ambiental.

Alguns exemplos de finos que podem ser utilizados são os pozolânicos (cinza de bagaço de cana-de-açúcar, cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacuilim) e os não pozolânicos (cerâmica moída, filler calcário, entre outros), desde que possuam área superficial maior que o material substituído.

O Concreto Autoadensável requer o uso de aditivos superplastificantes, responsáveis pela fluidez do concreto e, eventualmente, aditivos modificadores de viscosidade, responsáveis por manter a coesão da mistura.

1. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi de realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o concreto auto-adensável produzido com agregados leves. Como objetivos complementares buscou-se comparar os efeitos da substituição do agregado miúdo natural por argila expandida produzidos com/sem acréscimo de adições em sua dosagem. Avaliou-se suas propriedades no estado fresco e endurecido: resistência à compressão axial, à tração por compressão diametral e à tração na flexão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

De acordo com Battagin (2009), o concreto é composto por cimento, agregados miúdos e agregados graúdos, porém também necessita de água para se tornar uma pasta homogênea, podendo ou não conter aditivos químicos ou adições, desenvolvendo propriedades após seu endurecimento.

O cimento é classificado como aglomerante, pois ao ser misturado com água, reage e se torna uma pasta que promove a união dos agregados. Os agregados, tais como britas, areias, resíduos de construção e outros materiais, são classificados como graúdos ou miúdos, de acordo com a sua granulometria (ABNT NBR 7211). E então, os aditivos químicos e adições, são acrescentados na mistura do concreto de acordo com a necessidade construtiva, alterando suas propriedades e se adequando às situações pertinentes (ABNT NBR 11768).

2.1.1. TIPOS DE CONCRETO

Existem necessidades construtivas e para atender tais situações, foram desenvolvidos diversos tipos de concreto, a partir da alteração de traços e uso de aditivos e/ou adições, como também a escolha e a qualidade dos materiais, cura adequada, etc. Entre os mais utilizados, estão:

- **Concreto Convencional:** é um concreto onde não apresenta características especiais, podendo ser utilizado como base para diversos tipos de associações, onde não se necessita adaptações de suas características e nem de uma bomba para o bombeamento (PORTAL DO CONCRETO, 2013).
- **Concreto Armado:** onde se tem a utilização de armadura de aço na estrutura de concreto, auxiliando nos principais pontos de desvantagens, em relação à resistência à compressão e tração.
- **Concreto Bombeável:** possuem esse nome, devido à necessidade de ter uma bomba para realizar o lançamento deste concreto. Devido à adaptações no traço, esse tipo de concreto é mais fluído (SUPREMO CONCRETO, 2013).
- **Concreto Protendido:** semelhante ao concreto armado, o concreto protendido também utiliza armaduras de aço, porém, principal diferença é a protensão. Onde, as barras de aço são tracionadas antes da aplicação do concreto, sendo

assim, as barras de aço já estarão ativas e trabalhando, quando receber a adição de concreto (PORTAL DO CONCRETO, 2013).

- **Concreto Magro:** utilizado para regularização de superfícies e proteção mecânica, tendo como característica principal, maior quantidade de agregados. Comumente sendo utilizada entre o solo e fundações, bem como entre o solo e lajes de reservatórios, piscinas, entre outras (SUPREMO CONCRETO, 2013).
- **Concreto Especial:** são concretos com características específicas adaptadas de acordo com as necessidades de projeto. Para atingir tais características, são realizadas manipulações tanto em adaptações do traço do concreto, quanto utilização de aditivos, obtendo: concreto auto adensável, concreto de alto desempenho, alta trabalhabilidade, reforçado com fibras, retração compensada, entre outros.
- **Concreto Leve:** com substituição dos agregados convencionais, utilizando argila expandida, isopor, EVA ou vermiculita, o peso específico do concreto pode ser alterado.

2.1.2. CONCRETO LEVE

Para o concreto ser considerado leve, deve apresentar massa específica menor que a faixa comumente encontrada em um concreto convencional, ou seja, deverá apresentar massa específica abaixo da faixa de 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, conforme definição encontrada na ABNT NBR 6118 2014.

De acordo com a norma ACI 213R-87, concretos leves são aqueles que apresentam resistência à compressão após 28 dias, maior que 17,2 MPa e massa específica entre 1440 kg/m³ a 1850 kg/m³. Porém, na NBR NM 35, concretos leves são aqueles que possuem agregados considerados leves e apresentam resistência à compressão de 28 MPa e massa específica máxima de 1840 kg/m³, após os 28 dias de cura.

Em outras literaturas e normas técnicas, são encontrados outros valores considerados, de acordo com as pesquisas realizadas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Normas e publicações técnicas que informam a massa específica do concreto leve

Referência	Massa específica (kg/m ³)
RILEM (1975)	$\gamma < 2000$
CEB-FIP (1977)	$\gamma < 2000$
NS 3473 E (1992)	$1200 < \gamma < 2200$
ACI 213R-87 (1997)	$1400 < \gamma < 1850$
CEN prEN 206-25 (1999)	$800 < \gamma < 2000$
ABNT NBR 8953:2015	$\gamma < 2000$

Fonte: ROSSIGNOLO, (2009)

O concreto leve, pode ser produzido apenas com os agregados leves, poderá ser produzido com um traço parcial, usando uma combinação de agregados comuns e agregados leves. De acordo com Mehta e Monteiro (2014), em relação à trabalhabilidade e outras propriedades, comumente, é usado areia que apresenta massa específica convencional como agregado miúdo, porém limitando a dimensão do agregado leve a ser usado, em 19mm.

De acordo com Neville (1997), existem três maneiras de se obter concreto leve, sendo eles:

- substitui-se o agregado convencional por um agregado poroso de baixa massa específica (Figura 1).
- introdução de vazios grandes na massa de concreto, porém tais vazios, são diferentes de vazios pequenos produzidos com a incorporação do ar (Figura 2).
- grande quantidade de vazios, devido à exclusão de agregados miúdos (Figura 3).

Angelin (2014), cita uma quarta maneira de se obter um concreto leve, chamado de leve misto, onde são utilizados uma combinação de agregados miúdos, aditivos que incorporam o ar e a redução de agregados finos no traço do concreto.

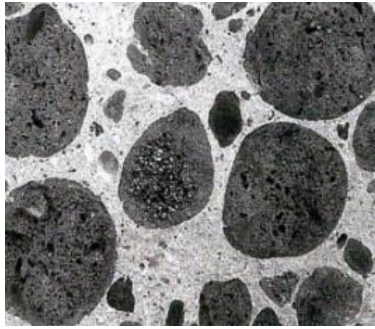


Figura 1 - Com agregados leves



Figura 2 - Concreto celular



Figura 3 – Concreto sem finos

Fonte: ROSSIGNOLO, (2009)

De acordo com a ABNT NBR 35:1995, são esperados valores mínimos de resistência à compressão em relação à massa específica aparente, conforme consta na Tabela 2.

Tabela 2 - Normas e publicações técnicas que informam a massa específica do concreto leve

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) - Valores Mínimos	Massa específica aparente (kg/m ³) - Valores Mínimos
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: ABNT NBR 35:1995

A ABNT NBR 35:1995, apresenta ainda especificidades sobre os agregados leves que serão utilizados na produção do concreto leve, devendo apresentar valores de massa unitária seco e solto, abaixo de 1120 kg/m³ para os agregados miúdos e 880 kg/m³ para os agregados graúdos.

2.2. AGREGADOS

De acordo com a NBR 9935:2011, agregados são, comumente, encontrados na característica granular, sem volume e formas definidas, são minerais e sólidos, com propriedades e características que se adequam para o preparo de concretos e argamassas. Sendo comumente utilizado na construção civil e em grande quantidade,

principalmente para preparo de concreto, é de grande importância conhecer todas as características para caracterizar a qualidade deste agregado, para obtenção de bons resultados, uma vez que influenciam desde a resistência mecânica do concreto, bem como seu desempenho e durabilidade (BAUER, 2000).

Sua classificação pode ser realizada de diversas maneiras, como sua origem, massa unitária, composição e granulometria, ou seja, de acordo com a dimensão de suas partículas (PETRUCCI, 1998).

De acordo com a sua origem, os agregados são classificados como miúdos, se são encontrados na natureza na forma em que serão usados, como areias, cascalhos, seixos, entre outros ou como agregados graúdos, se são obtidos a partir de pedreiras, onde são obtidos pedriscos, pedra britada, entre outros. Existem também, os agregados industrializados, que são obtidos a partir de processos industriais, tais como argila expandida, vermiculita e escória (RIBEIRO, 2009). Ver Figuras 4 a 6.



Figura 4 - Agregados Miúdos



Figura 5 - Agregados Graúdos de Diversas Granulometrias (Brita)



Figura 6 - Agregados Industrializados

A classificação das dimensões das partículas, é realizada através do ensaio de determinação granulométrica, conforme os métodos encontrados na NBR 7217:1987. Onde, os agregados miúdos passam pela peneira de 4,8mm e ficam retidos na peneira 0,150mm, já para os agregados graúdos, deverão passar pela peneira de 152mm e ficar retidos na peneira 4,8mm.

Já a classificação em relação à massa unitária do agregado, é a massa da unidade de volume aparente, ou seja, medida dos volumes de vazios entre os grãos. Para determinação desta característica, são utilizados os métodos encontrados na NM 45:2006, onde são obtidas outras características, tais como índice de vazios e massa específica.

De acordo com a massa específica do agregado, são classificados em três classes (PORTAL DO CONCRETO, 2019):

- Agregados Pesados: hematita, magnetita e barita;
- Agregados Normais: pedras britadas, areias, seixos;
- Agregados Leves: argila expandida, pedra-pomes, vermiculita.

2.2.1. Agregado Leve

São considerados agregados leves todos os materiais que apresentam classificação leve, de acordo com a caracterização da sua massa específica. Que ao ser utilizado no traço de concreto, agrega a característica de concreto leve, pois atua diretamente na alteração da massa específica, deixando-o abaixo da faixa de um traço convencional. Conforme Malaiskiene et al. (2011) e Ibrahim et al. (2013), com a substituição de agregados comuns por agregados considerados leves, são principalmente em relação a sua resistência mecânica, durabilidade, trabalhabilidade, módulo de deformação, resistência de altas temperaturas, condutividade térmica e espessura da zona de transição.

2.2.2. Argila Expandida

No Brasil, existe apenas um produtor de argila expandida, a CINEPAX, no interior de São Paulo, sendo sua maior produção destinada para o setor da construção civil, devido aos avanços tecnológicos deste setor (MAYCÁ et al., 2009).

Os agregados leves de argila expandida, são produzidos através de um processo industrial, por se tratarem de agregados industrializados. Conforme Neville (1997), as argilas expandidas são produzidas a partir do aquecimento de vários tipos de argila em um forno rotativo, até que tenha uma fusão incipiente entre 1000°C e 1200°C, quando a expansão ocorre, devido a geração de gases que estão retidos dentro da superfície do agregado. A estrutura porosa, após o resfriamento, é conservada, gerando assim, a massa específica aparente seja inferior ao anterior, antes de iniciar o processo de aquecimento.

Ainda de acordo com Neville (1997), é possível obter a expansão da argila a partir de uma sinterização contínua, porém, com esse processo, a argila úmida é transportada por uma esteira, passando por maquinários de queima, onde o calor atinge aos poucos, toda a espessura da camada dos materiais, mantendo todo os gases retidos em seu interior.

2.2.3 Adições minerais para concreto leve autoadensável

De modo geral, a formulação de um Concreto Autoadensável e do Concreto Leve Autoadensável utiliza os mesmos princípios de um concreto convencional, apresentando a principal diferença na fluidez do material no estado fresco.

O emprego maior de finos e superplastificantes no CAA e CLA é o que confere a esses materiais a maior fluidez e capacidade de autoadensamento sem necessidade de ações externas.

A adição de finos provoca o aumento da resistência mecânica do concreto e o torna mais impermeável, aumentando sua vida útil e influenciando positivamente no concreto pelo efeito filler, com o preenchimento de espaços vazios (Gesoglu et al, 2011 apud Angelin et al. 2020). Por outro lado, o elevado teor de cimento e o baixo consumo de agregado graúdo provoca fissuração geradas por retração na secagem devido ao elevado calor de hidratação (Borja, 2011).

Serão abordados a seguir as características de algumas adições minerais em diferentes formulações de concreto, buscando identificar quais características positivas e quais observações devem ser pontuadas para seu uso, traçando um paralelo com as propriedades almejadas na elaboração do Concreto Leve Autoadensável.

2.2.3.1. Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar

Um dos subprodutos gerados na indústria sucroalcooleira a partir da produção de açúcar, álcool e outros produtos, é o bagaço da cana-de-açúcar. Esse subproduto é queimado nas próprias usinas, alimentando as caldeiras para geração de energia, originando um resíduo denominado Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (Santos et al, 2019). Existem dois tipos de cinzas geradas na indústria sucroalcooleira, a cinza leve, proveniente dos filtros das chaminés, e as cinzas pesadas, provenientes das caldeiras das usinas (Moretti et al, 2016).

A Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBCA) tem despertado interesse devido a sua crescente disponibilidade e composição química que apresenta alto teor de sílica, o que o torna uma fonte suplementar de aditivo mineral para a produção de materiais cimentícios. A adição de cinza de biomassa da cana-de-açúcar pode ser uma fonte de finos em concretos autoadensáveis, tornando o mesmo mais coeso e sem exsudação, sem a necessidade do uso de aditivos modificadores de viscosidade, proporcionando uma maior durabilidade devido a reação pozolânica que a cinza de biomassa da cana-de-açúcar pode proporcionar (Anjos et al, 2010).

As amostras de Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar analisadas por Borja (2011) apresentaram composições químicas variadas, possivelmente influenciadas pelas condições de queima do bagaço e da umidade do material, o que dificulta a padronização da dosagem do concreto. O mesmo autor constatou que o elevado teor de dióxido de silício nas cinzas analisadas tem possível origem na absorção do silício do solo pelas raízes, na forma de ácido monossílico (H_4SiO_4). Outra possibilidade da concentração de silício é a areia da lavoura, que não é totalmente removida durante a etapa de lavagem no processamento.

A composição química de diversas amostras de CBCA foi tabulada e analisada por Rezende e Sales (2020) a partir de estudos publicados sobre o tema (Tabela 3).

Reafirmando a influência do solo na presença de sílica na composição dos materiais, e a relação da região de origem e do tipo de cinza (leve ou pesada) na variação da composição química, sendo o maior desvio padrão de 11,1 o da porcentagem de SiO₂.

Tabela 3 - Composição química da Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar (CBCA)

Comp. Química (% m)	Cinzas leves						Cinzas pesadas	
	Cordei-Ro <i>Et Al.</i> , 2008	Arif; Clark; Lake, 2016	Arenas-Piedrahita <i>Et Al.</i> , 2016	(Bonilla <i>Et Al.</i> , 2016	(Kazmi <i>Et Al.</i> , 2017)	(Joshaghani; Moeini, 2017)	(Moretti <i>Et Al.</i> , 2016)	(Prusty; Patro; Basarkar, 2016)
País	Brasil	Austrália	México	Honduras	Paquistão	EUA	Brasil	Índia
SiO ₂	78,34	78,498	66,12	64,18	85,17	55,7	80,20	90,00
Al ₂ O ₃	8,55	7,273	14,99	8,92	1,69	2,86	2,60	4,28
Fe ₂ O ₃	3,61	3,847	7,16	3,35	2,73	3,51	5,60	6,98
CaO	2,15	1,280	2,57	3,00	2,59	15,34	1,80	11,8
MgO	--.	1,281	1,19	1,21	0,69	-	1,60	3,61
SO ₃	--.	1,553	0,26	0,08	0,17	4,08	0,10	1,48
Na ₂ O	0,12	0,697	0,54	1,22	0,29	0,37	0,20	---
K ₂ O	3,46	1,414	3,52	5,06	0,36	6,10	4,00	3,53
Perda ao fogo	0,42	---	9,34	---	1,96	8,92	-	4,73

Fonte: Rezende e Sales (2020)

A partir das fontes consultadas por Rezende e Sales (2020), conclui-se que outros fatores interferem na pozolanicidade do CBCA, como a temperatura de queima do bagaço e o tamanho dos grãos de cinza, se comportando como material inerte em diâmetros próximos a 30µm, aumentando a pozolanicidade conforme as partículas diminuem, aumentando a área superficial gerando maior reatividade.

A Tabela 4 aborda essas propriedades obtidas por estudos experimentais da adição de CBCA.

Tabela 4 – Resultados da adição de Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar com as porcentagens de substituição ou adição para produção de CAA.

Trabalho	Substituições Minerais (CBCA)	Estado	
		Fresco	Endurecido
Anjos <i>et al</i> (2010)	<ul style="list-style-type: none"> Substituição de 20% do cimento (agregados convencionais); Substituição de 20% da areia (agregados convencionais). 	<ul style="list-style-type: none"> melhores características auto-compactantes; maior compacidade à mistura; menor exsudação; 	<ul style="list-style-type: none"> Baixa influência na resistência a compressão comparado ao concreto de referência; Diminuição de 3 MPa no Traço 1 - 20% cimento; Diminuição de 7 MPa no Traço 2 - 20% areia;
Borja (2011)	<ul style="list-style-type: none"> Substituição de 10% do cimento (agregado leve – argila expandida); Substituição de 20% do cimento (agregado leve – argila expandida); 	<ul style="list-style-type: none"> coesão e consistência; preenchimento de vazios, proporcionando melhor empacotamento inexistência de exsudação; inexistência de segregação; 	<ul style="list-style-type: none"> resistência à compressão axial; baixa massa específica; aumento da durabilidade retardo no tempo de pega inicial; menores resistências nas idades de 1, 7 e 28 dias.
Malacarne <i>et al</i> , 2020	<ul style="list-style-type: none"> 5%, 10%, 15% e 20% do cimento CP V-ARI, sem adições pozolânicas (agregado graúdo convencional – brita basáltica) 	<ul style="list-style-type: none"> redução da trabalhabilidade com o aumento no teor de adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (slump test). 	<ul style="list-style-type: none"> substituições de 5% e 10%: ganho de resistência à compressão nas primeiras idades (4% a 10%), diminuindo os ganhos aos 28 dias (1,5% a 2,5%); para substituições de 10% e 20% há uma diminuição da resistência à compressão nos primeiros dias (6% a 10,5%), variando de 1,5% a 13,5% de diminuição aos 28 dias; teores de 5% a 15% de substituição apresenta menor absorção de água – absorção do traço com teor de 20% é apenas 0,07% superior ao referência.

Fonte: Próprio Autor

Após análise, para que a trabalhabilidade seja mantida, é necessário elevado uso de aditivos superplastificantes ou a elevação da relação água/cimento. Quanto ao comportamento no estado endurecido, notou-se um acréscimo nas resistências à compressão e tração, melhorando a zona de transição entre agregado e matriz.

2.2.3.2. Sílica Ativa

A sílica ativa ou microssílica é um aditivo mineral derivado do processo de produção do silício metálico e das ligas de ferrossilício em fornos elétricos, a mesma garante maior durabilidade, impermeabilidade e resistência ao concreto de alto desempenho e argamassas (Carvalho et al, 2019).

Para concretos autoadensáveis (CAA) e leves autoadensáveis (CLA), a sílica ativa contribui para o alcance de propriedades no estado fresco como coesão, fluidez e habilidade passante necessária, contribuindo para a diminuição de segregação e exsudação (Angelin et al, 2020). As características das adições de sílica ativa são abordadas na Tabela 5, a partir de estudos realizados sobre o tema.

Tabela 5 – Resultados da adição de Sílica Ativa, propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos produzidos.

Autor	Substituição/Adições Minerais (Sílica Ativa)	Estado	
		Fresco	Endurecido
Carvalho et al (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Adição de 4%, 8% e 12%; cimento CP V-ARI RS (agregado graúdo convencional – brita). • Concreto Autoadensável (CAA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Para mesma relação água/cimento: trabalhabilidades diferentes de acordo com a porcentagem de adição de sílica ativa; • Traços apresentaram valores de Slump Flow Test compatíveis com o intervalo estipulado para CAA (índice de espalhamento entre 550mm a 850mm); • Diminuição do índice de espalhamento de acordo com o aumento da porcentagem de adição de sílica ativa; • maior coesão e maior resistência com o aumento da porcentagem de adição mineral de sílica ativa devido ao pequeno tamanho das partículas; 	<ul style="list-style-type: none"> • medida que o percentual de sílica foi aumentado, foi possível perceber um acréscimo na resistência do concreto autoadensável; • quanto maior o percentual de sílica, menor será a porosidade do concreto, sendo maior a sua compactidade e, conseqüentemente, maior será a sua resistência.

Fonte: Próprio Autor

Após a análise, notou-se um aumento da resistência mecânica do concreto devido a sua propriedade aglomerante, que preenche os vazios e melhora as propriedades da zona de transição entre agregado e pasta. Por ser uma adição que tem origem em um processo industrial, possui menor variação de seus elementos químicos se comparada a cinzas.

2.2.3.3. Metacaulim

O Metacaulim é uma adição mineral aluminossilicosa obtida da calcinação (600°C a 900°C) de alguns tipos de argilas, como as caulinitas e os caulins de alta pureza, constituído de compostos a base de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) na fase amorfa (vítrea) (Galvan e Santos Filho, 2020). Esta adição mineral gera uma reação pozolânica com o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ presente na pasta de cimento, reduzindo a porosidade e o teor de hidróxido de cálcio na matriz de cimento, assim como melhora a qualidade da zona de transição agregado-matriz, promovendo a melhoria de desempenho das propriedades do concreto relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade (Rossignolo e Oliveira, 2006). Foram analisados estudos que realizaram adições ou substituições de metacaulim na composição de concretos, Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado da adição de Metacaulim, propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos produzidos.

Autor	Substituição/Adições Minerais (Metacaulim)	Estado	
		Fresco	Endurecido
Perardt et al (2020)	<ul style="list-style-type: none"> Substituição de 20% à massa do cimento, CP V – ARI (agregado graúdo convencional – pedra britada). 	<ul style="list-style-type: none"> Obtenção de concreto mais coeso, com redução da segregação e exsudação; Concretos parcialmente de acordo com o EFNARC. O CAA com substituição de metacaulim teve um consumo superior de água, ocasionando maior demanda por aditivo; CAA com substituição de metacaulim está fora de praticamente todas as faixas indicadas por Repette (2008), ultrapassando valores de incorporação de finos, água/finos, porcentagem de agregado miúdo na argamassa e de agregado graúdo no concreto; Ambos atingiram fluidez de acordo com o requerido, porém o CAA com metacaulim precisou de mais que o dobro do teor de superplastificante para obter essa propriedade (maior superfície específica); 	<ul style="list-style-type: none"> Menor liberação de calor de hidratação (menos clínquer); Massa específica próximas entre concreto de referência e o CAA com metacaulim (2464 kg/m³ e 2370 kg/m³, respectivamente); O CAA com metacaulim apresenta maior resistência à compressão aos 28 dias (superior a 50MPa) se comparado ao concreto de referência; O autor destaca que essas diferenças não são significativas estatisticamente, devido ao desvio padrão obtido nas análises; Apesar do elevado potencial pozolânico do metacaulim, não houve ganho significativo de resistência com incorporação desse mineral como esperado, possivelmente devido ao percentual elevado de substituição que acabou por diminuir a trabalhabilidade e demandar um teor alto de superplastificante; Diminuição do fator de absorção do CAA com metacaulim, sendo 28% menor que o concreto de referência, sem a adição; Fissuras com aberturas menores e mais curtas no CAA com metacaulim em comparação ao concreto de referência; Estrutura heterogênea, com regiões bastante densas e regiões com poros de grandes dimensões (até 500 µm), possivelmente devido ao teor elevado de superplastificante utilizado nesse concreto que acaba incorporando ar na estrutura na forma de bolhas.

Fonte: Próprio Autor

O metacaulim deve ser adicionado ao traço do concreto de forma a se observar um proporcionamento ótimo, uma vez que o aumento da quantidade de substituição de cimento por metacaulim, não implica em aumento na mesma proporção na resistência (Galvan e Santos Filho, 2020). No estado fresco, o metacaulim se mostrou eficiente no auxílio ao controle da segregação (Perardt et al, 2020).

3. ESTUDO DE CASOS: Concreto Leve Utilizando Argila Expandida

3.1. Confeção de Concreto Estrutural Leve Substituindo Parte dos Agregados Graúdos por Argila Expandida por Barcelos et al. (2016)

No estudo realizado em 2016, por Barcelos et al (2016), foi utilizado um aditivo incorporador de ar, com o objetivo de diminuir o peso do concreto, pois o mesmo cria bolhas de ar minúsculas, que se distribuem uniformemente, aumentando a leveza característica do concreto.

Para o traço do concreto com argila expandida, foi utilizado areia fina e grossa, com peso específico de, respectivamente, 1500 e 1800 (kg/m^3), uma mistura composta de 40% de brita 2 e 60% de argila expandida tipo 3222. Já para o cimento, o escolhido Portland Pozolânico Super CP IV - 40, que apresenta característica de alta resistência para sulfatos, sendo indicado para uso em ambientes agressivos.

Para o concreto comparativo, utilizou-se concreto convencional de mesmo traço ao anterior, porém, foram substituídos 10% de agregado leve por resíduo de concreto triturado.

Após os ensaios de resistência a compressão com 7 e 28 dias, pode-se encontrar os seguintes resultados:

- O concreto convencional com resíduo apresentou maior resistência à compressão, em relação ao concreto com adição de argila expandida, onde apresentaram 35,60 MPa e 30,31 MPa, respectivamente.
- O concreto com argila expandida apresentou 20% a menos de peso, em relação ao concreto convencional com resíduo.
- O concreto com argila expandida não se caracterizou como concreto leve, pois não apresentou massa específica abaixo de 1850 kg/m^3 . Contudo, apresentou massa específica inferior ao concreto convencional com resíduo.

3.2. Desempenhos Físico, Mecânico e Acústico de Compósitos Cimentícios com Agregados Leves por Alves et al. (2018).

No estudo publicado em 2018, foram utilizados cimento CPV ARI, sílica ativa, areia natural de origem quartzosa, argila expandida e dois aditivos: superplastificante e incorporador de ar, com o intuito de entender o desempenho desses materiais juntos, para atender os aspectos físicos, mecânicos e acústicos desde compósito.

Dentre os materiais presentes neste estudo, foram preparados quatro traços diferentes, sendo eles:

- Traço I: sem argila e sem incorporador de ar;
- Traço II: sem argila e com incorporador de ar;
- Traço III: substituição de 50% de areia por argila e com incorporador de ar;
- Traço IV: substituição de 100% de areia por argila e com incorporador de ar.

Após os ensaios realizados, conforme as normas regulamentadoras (ABNT NBR 13276:2016, ABNT NBR 9833:2009; ABNT NBR 13279:2005, ABNT NBR 9778:2009; os resultados encontrados por meio dos ensaios foram:

- Índice de Consistência (ABNT NBR 13276:2016): Traço II apresentou menor índice de espalhamento.
- Estado Fresco (ABNT NBR 9833:2009): Traço IV apresentou menor massa específica e maior teor de ar incorporado, ou seja, foram obtidos 1037 Kg/m³ e 39,8%.
- Estado Endurecido (ABNT NBR 9778:2009): Traço IV se manteve com menor massa específica (1231 Kg/m³), maior porcentagem de absorção de água (16,1%) e maior índice de vazios (19,8%).
- Resistência à Tração (ABNT NBR 13279:2005): tanto nos ensaios realizados em 7 dias ou 28 dias, o Traço IV apresentou menor resistência à tração, atingindo 5,7 MPa em 28 e já para o Traço I, obteve-se melhores resultados, atingindo 15,8 MPa, após 28 dias.
- Resistência à Compressão (ABNT NBR 13279:2005): tanto nos ensaios realizados em 7 dias ou 28 dias, o Traço IV apresentou menor resistência à compressão, atingindo 17,8 MPa e no Traço I, obteve-se melhores resultados, atingindo 76,8 MPa, após 28 dias.
- Propriedades Acústicas (EN ISO 9712): para os traços III e IV, a velocidade de propagação do som foi menor que os outros dois traços, bem como a atenuação de ruídos, onde os traços III e IV apresentaram melhor performance.

3.3. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve por Moncada et al. (2019)

No estudo desenvolvido por Moncada et al. (2019), teve-se como objetivo realizar a análise comparativa de um concreto convencional e de uma amostra preparada com argila expandida em conjunto com poliestireno expandido (EPS).

No traço convencional, utilizou-se cimento, areia, água e brita, considerando fator aglomerante de 0,5. Já para o traço teste, foram utilizados os mesmos materiais, com exceção para a brita, substituída por parte de argila expandida e parte por EPS, obtendo fator aglomerante de 0,6.

Após a realização dos ensaios de tração e compressão, foram obtidos os seguintes resultados:

- Massa Específica: o traço convencional massa específica de 2750 Kg/m³, enquanto o traço teste, apresentou aproximadamente 1857 Kg/m³.
- Resistência à Compressão: o traço convencional obteve maior resistência, após 28 dias, o traço convencional apresentou resistência de 34,2 MPa, enquanto o traço teste apresentou 27,4 MPa.
- Eficiência: neste quesito, o traço teste apresentou maior fator de eficiência após 28 dias em relação ao traço convencional, respectivamente, sendo 14,7 e 12,4 MPa.dm³/Kg.

4. CONCLUSÃO

Foram analisados os de estudos que abordaram o uso de argila expandida e de adições minerais na elaboração de concretos, listando as principais propriedades alcançadas, com o objetivo de conhecer o comportamento dessas adições e os benefícios das mesmas nos desempenhos dos compósitos. De uma forma geral, os comportamentos observados de concretos leves autoadensáveis foram melhorados com as adições minerais expostas nos trabalhos revisados, resultando no melhor empacotamento das partículas e do preenchimento dos vazios, e conseqüentemente em maiores valores de resistência mecânica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, J. A.; ANGELIN, A. F. Avaliação Da Substituição Parcial Do Cimento Portland Pela Sílica Ativa Em Concreto De Alto Desempenho (CAD). In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. Guide For structural lightweight aggregate concrete, ACI 213R-03. ACIA Manual of Concrete Practice, 2003.

AMORIM, T.F. Propriedades de durabilidade de concreto autoadensável leve com agregado reciclável. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Maceió, 2016.

ANJOS, M. A. S.; MOREIRA, H. P.; BORJA, E. V.; PEREIRA, A. C.; NETO, C. A. Efeito da adição de cinza da biomassa da cana-de-açúcar como finos no concreto auto-adensável. In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2010, 2010.

ANGELIN, A.F. Análise dos desempenhos físicos, mecânicos, térmico acústico da microestrutura do concreto leve autoadensável emborrachado (CLAE). Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia. Limeira, 2018.

ANGELIN, A. F.; L. A. G. BARBOSA; LINTZ, ROSA C. C. Propriedades no estado fresco e endurecido do concreto autoadensável modificado com agregados leves e reciclados. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.11, p.76-94, 2018.

ANGELIN, A. F; LINTZ, R. C. C.; OSÓRIO, W. R. R.; GACHET, L. A. Evaluation of efficiency factor of a self-compacting lightweight concrete with rubber and expanded clay contents. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 257, article 119573, October 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2017). NBR 15823-2: Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (20185). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011). NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ALCANTARA, M. A. M.; KUMAYAMA R.; CRUZ, W. S.; SEGANTINI, A. A. S.; PINHEIRO, L. M.; Estudo das propriedades mecânicas do concreto autoadensável com o emprego de pó de mármore e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 56. Anais. Natal: Ibracon, 2014.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 213R-03. Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete, 2003.

AZENHA, M. M.; GIBRÃO, S. S.; SANTOS, A. C. Viabilidade da Utilização de Resíduos Resultantes da Queima do Bagaço da Cana de Açúcar e da Casca do Arroz Como Substituto Parcial Para o Cimento Portland. In: 59º Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, Bento Gonçalves. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017, 2017.

BARCELOS, J.L.; COUTO, S. H.; MONTEIRO, S. N.; CABRAL, S. C. Confecção de concreto estrutural leve substituindo parte dos agregados graúdos por argila expandida. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica 2016. Águas de Lindóia - São Paulo.

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: https://abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml. Acesso em: 15 de Novembro de 2020.

BAUER, L. ^a F. “Materias de Construção” volumes 1 e 2 , 2000 Editora LivrosTécnicos e Ciêntíficos, São Paulo – SP.

BORJA, E. V. Efeito da adição da argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CARVALHO, R. L. M.; LIMOEIRO, I. B.; ADAM, M. A.; FALLACE, M. P. S.; STAFFA JÚNIOR, L. B.; SILVA, A. S. R. Estudo sobre a Influência da Sílica Ativa nas Propriedades Mecânicas do Concreto Auto-adensável. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

CORDEIRO, L. N. P. Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

FERNANDES, S. E.; TASHIMA, M. M.; MORAES, J. C. B.; ISTUQUE, D. B.; FIORITI, C. F.; MELGES, J. L. P.; AKASAKI, J. L. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. Revista Matéria, v.20, n.4, pp. 909 – 923, 2015.

GALVAN, L. C.; SANTOS FILHO, M. M. Efeito do Metacaulim nas Propriedades Mecânicas e na Microestrutura do Concreto. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2020, 2020.

GANASINI, D.; EFFTING, C.; SHACKOW, A.; CIFUENTES, G. A. Concretos de Alto Desempenho Produzidos com Sílica de Casca de Arroz e Sílica Ativa em Suspensão. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

KRAMER, H. S.; KIRCHHOF, L. D.; LIMA, R. C. A.; SILVA, S. S.; FERRAZ, G. E. Comportamento Mecânico De Concretos Com Substituição Parcial De Cinza De Casca De Arroz E Adição De Fibras De Aço Em Altas Temperaturas. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2020, 2020.

LIMA, C. J. F.; SEIDLER, N. Estudo do comportamento do concreto substituindo cimento por cinza de casca de arroz tendo em vista a sustentabilidade. In: 58º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2016.

LIRA, C. S.; ALMEIDA, L. A. S.; MELO, P. V. V. D.; LAURSEN, A. Dosagem de Concretos de Alto Desempenho com incorporação de Sílica. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

LONDERO, D. Z., AZEVEDO, A. A. Blocos De Concreto Para Pavimentação Com Substituição Parcial De Cimento Por Cinza De Casca De Arroz: Avaliação Das Propriedades De Resistência À Compressão E Absorção De Água. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

MALACARNE, S. M., CORTEZ-VEJA, W. R, SUEGAMA, P. H. Processamento e caracterização do resíduo da queima do bagaço da cana-de-açúcar para incorporação em compostos cimentícios. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2020, 2020.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. P. Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. Anais. São Paulo: IBRACON, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedade e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MONCADA, JECM; Flor, LDS; Silva, VA; Pacheco, JS. Estudo da adição de argila expandida e EPS como agregados na elaboração de concreto leve. Revista Teccen. 2019 Jan/Jun; 12 (1)

MORETTI, J. P.; SALES, A.; QUARCIONI, V. A.; SANTOS, R. F. C. Análise da atividade pozolânica da areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar. In: 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2016, Belo Horizonte. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2016, 2016.

MORETTI, J. P. et al. Joint use of construction waste (CW) and sugarcane bagasse ash sand (SBAS) in concrete. Construction and Building Materials, v. 113, p. 317–323, 2016.

PADILHA, V. Z.; SILVA, J. V. L.; SANTOS, S. Análise da resistência mecânica e durabilidade de concretos produzidos com cinza de casca de arroz e pó de pedra. In: 59º Congresso Brasileiro do Concreto, 2017, Bento Gonçalves. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017, 2017.

PERARDT, M.; BROCARD JUNIOR, M. A.; SCHMOLLER, T.; MANTELLI, D. F.; LUZ, C. A. Metacaulim como substituição parcial do cimento Portland em concreto autoadensável: avaliação das propriedades dos estados fresco e endurecido. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2020, 2020.

PEREIRA, A. M.; SILVA, C. A. R.; QUEIROZ, D. C. A.; MORAES, M. J. B.; MELGES, J. L. P.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. Revista Matéria, v.20, n.1, pp. 227–238, 2015.

PERONICO JUNIOR, E. A.; ANDRADE, D. S.; ASSUNÇÃO, T. R.; SILVA, K. V. O.; CARVALHO, L. P.; SILVA, I. A. Avaliação da resistência à compressão e da permeabilidade do concreto permeável com metacaulim e nanossílica coloidal. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

PETRUCCI, E. G. R. “ Materiais de Construção”, 1998, Editora globo, Rio de Janeiro – RJ. PETRUCCI, E. G. R. “Concreto de Cimento Portland 1998, Editora Globo, Rio de Janeiro – RJ.

REZENDE, M. A. M., SALES, A. Incorporação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em concretos: pesquisas recentes. In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, 2020, Florianópolis. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2020, 2020.

ROSSIGNOLO, J. A.; OLIVEIRA, I. L. Concreto leve estrutural com metacaulim. Minerva, v. 3, n. 2, p. 177-187, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo, PINI, 2009.

SANTOS, V. C.; VANDERLEI, R. D.; MORAES, K. K.; ROSINA, E. T. D. F.; BALBINO, G. M. Behavior of the self-compacting mortar with sugarcane bagasse ash in the fresh and hardened state. REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS, v. 12, p. 179-198, 2019.

SANTOS, S. F.; MOREIRA, L. A.; GOMES, C. L.; OLIVEIRA, R. M.; SALLES, P. V.; SILVA JUNIOR, L. A. Caracterização da cinza de casca de arroz como adição mineral ao concreto. Research, Society and Development, v. 8, p. 1-12, 2018.

SILVA, D. S.; SILVA, D. L.; BENTO, A. J.; FONSECA, J. M. M. Avaliação Da Resistência À Compressão De Concreto Com Substituição De Metacaulim. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018, Maceió/AL. CONTECC, 2018.

SIQUEIRA, M.; TOMAZ, J.; AZEVEDO, A.; SILVA, A.; SANTOS, A.; MOTA, J. Influência do Metacaulim e da Sílica nas Propriedades do Concreto. In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto, 2019, Fortaleza. Anais do 61º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2019, 2019.

Tipos de Concreto. Portal do Concreto, 2019. Disponível em: <https://www.portaldoconcreto.com.br/concreto>. Acesso em: 15 de Novembro de 2020.

Tipos de Concreto. Supremo Concreto, 2019. Disponível em: <http://www.supremocimento.com.br/>. Acesso em: 15 de Novembro de 2020

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos auto adensáveis. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

VERZEGNASSI, E. Estudo das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto leve autoadensável. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia. Limeira, SP. 2015.