

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

**CINZA VOLANTE COMO AGREGADO NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

*Carlos Alberto Mucelin (camucelin@gmail.com),
Giorgia Baseggio Strieder (gibaseggio@gmail.com)*

Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

A construção civil é um importante setor da indústria e é considerada como um dos principais fatores de crescimento econômico e social do Brasil. Reflete, portanto, de imediato determinados aspectos da economia do país e indica os índices de progressos e retrocessos. Nesse cenário se apresentam determinadas alternativas de reciclagem para a indústria da construção civil, uma delas derivada do processamento e industrialização da produção de madeira, na qual os resíduos compõem uma mistura de queima para as indústrias cerâmicas utilizarem na fabricação dos blocos cerâmicos e as cinzas volantes oriundas desse processo que poderão então ser utilizadas como substituição parcial na argamassa de revestimento. A avaliação foi realizada através da produção de traços com diferentes porcentagens de substituição do agregado miúdo natural por cinzas volantes. Para este estudo foram utilizados como materiais aglomerantes o cimento Portland CP II - Z, classe 32 e a Cal hidratada CH - III. O traço para confecção das argamassas foi de 1:2:8 e os teores de substituição foram de 0%, 15%, 25% e 50%. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, concluindo-se que o emprego da cinza volante em argamassas é viável para aplicações de revestimentos internos e, também, um método de destinação adequado e de menor agressividade ao meio ambiente.

Palavras-chave: Argamassa; Construção Civil; Cinzas.

**VOLANT ASH AS AGGREGATE IN MECHANICAL PROPERTIES OF
COATING MORTAR**

ABSTRACT

Civil construction is an important sector of industry and is considered as one of the main factors of economic and social growth in Brazil. It therefore immediately reflects certain aspects of the country's economy and indicates the rates of progress and setbacks. In this scenario, certain recycling alternatives are presented for the construction industry, one of which is derived from the processing and industrialization of wood production, in which waste makes up a firing mixture for the ceramic industries to use in the manufacture of ceramic blocks and fly ash from this process can then be used as a partial replacement in the coating mortar. The evaluation was carried out by producing traces with different percentages of replacement of the natural kid aggregate by fly ash. For the study, Portland cement CP II Z, class 32 and hydrated lime CH - III, and natural sand were used as binder materials. The trace of the mortars was 1: 2: 8 and the replacement of the small aggregate by the ashes was 0%, 15%, 25% and 50%. The results obtained were satisfactory, concluding that the use of fly ash in mortars is feasible for applications coatings and also a method of proper disposal and less aggressiveness to the environment.

Keywords: Mortar; Construction; Ashes.

1. INTRODUÇÃO

É possível se observar em termos mundiais, vinculada pelos meios jornalísticos da imprensa escrita e falada e, nos últimos anos da segunda década do século XXI também perceptível nas redes

sociais, determinada preocupação com a preservação do ambiente com atenção aos princípios de sustentabilidade. Há destaque para a utilização de fontes de energias limpas e renováveis, controle e tratamento de poluentes industriais e, especialmente, o reaproveitamento de subprodutos e resíduos.

É perceptível também na sociedade contemporânea ocidental, entre suas múltiplas características culturais, o elevado consumo de bens tecnológicos e industriais. O exacerbado consumo implica em elevadas taxas de produções de bens de consumo, materiais, equipamentos, alimentos entre outros e, conseqüentemente, produções ininterruptas de indústria com incontáveis índices de produção de resíduos sólidos descartáveis distintos e multivariados.

A construção civil é responsável por um setor importante da indústria e considerada como uma das principais responsáveis pelo crescimento econômico e social do Brasil. Essa condição apresenta reflexos de imediato na economia, no crescimento da população e, conseqüente no aumento da procura por habitações que faz com que os países em desenvolvimento se vejam forçados a buscar uma alternativa eficaz para o melhor e maior reaproveitamento de algumas atividades industriais bem como melhor e se adequar a uma gestão ambiental eficaz (BESSA, 2011).

Dentre os diversos segmentos da construção civil, o mais propício e acolhedor quanto à aplicação dos conceitos de sustentabilidade e gestão ambiental é o de materiais de construção, especialmente aqueles que empregam o cimento Portland como material principal. A incorporação dos resíduos permite a substituição de materiais já consagrados, como o cimento Portland e o agregado miúdo (LIMA, 2010).

As cinzas residuais são materiais com grandioso potencial para serem utilizadas na fabricação de argamassas. Um dos principais fatores relacionados ao reaproveitamento dos resíduos de indústria madeireira é a viabilidade econômica e financeira. É possível, de maneira direta, reduzir o consumo de matéria-prima, areia (agregados miúdos), utilizada na produção de concretos, devido à mesma estar diretamente ligada ao custo do conjunto, além de que esse agregado, quando retirado em excesso, reflete de maneira prejudicial ao meio ambiente (MMA, 2014).

Uma das principais fontes de matéria-prima do Brasil está ligada a indústria madeireira, devido a uma notável faixa do território nacional ser ocupado por vegetação. O setor madeireiro é uma das atividades industriais que mais explora a matéria-prima em questão, infelizmente, muitas vezes, de maneira inadequada (CASTRO, 2015). De acordo do Foelkel (2017), um dos principais problemas relacionados a geração e reciclagem de resíduos das empresas brasileiras está ligado ao pensamento equivocado de que estão reciclando de maneira eficiente, quando enviam resíduos primários para queima em caldeiras de biomassa.

2. OBJETIVO

Dada a importância do assunto, em uma época na qual o desenvolvimento torna-se um aliado da atenção aos princípios da sustentabilidade e da preservação ambiental; o objetivo desta investigação foi agrupar informações, analisar e indicar as potencialidades de utilização desse resíduo, avaliando a viabilidade técnica e econômica das cinzas em substituição total ou parcial para a produção, reutilização ou desenvolvimento de novos produtos.

3. METODOLOGIA

Este estudo se baseou na produção de uma argamassa de referência e argamassas com incorporação de resíduos da indústria madeireira. O agregado miúdo reciclado utilizado nas misturas para substituir parcialmente o agregado miúdo natural são as cinzas residuais provenientes da Indústria Cerâmica. O resíduo foi gerado a partir da combustão da chamada mistura de queima no interior dos fornos de uma olaria, cujas atividades industriais foram executadas a uma temperatura de aproximadamente 350°C e, o material utilizado era composto por serragem, cavaco e pó (Figura 1).

Figura 1: Resíduo de cinza



Para a produção da argamassa, o traço padrão utilizado foi de 1:2:8 (cimento: cal: areia) que deriva de uma composição mais difundida do traço 1: 3 (aglomerante: agregado) que é um dos traços mais empregados para argamassas de assentamento e atendem as referências de Bortoletto (2017), Pczieczek (2017), Castro (2015) e Bessa (2011).

As argamassas produzidas possuem porcentagens distintas de substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de cinzas volantes, sendo 0%, 15%, 25% e 50%, a fim de verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa - Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de substituição do agregado miúdo por resíduo

Argamassa	Ag. miúdo	Resíduo (%)
AR	0	0
AC15	85	15
AC25	75	25
AC50	50	50

AR – Argamassa de referência; AC15 – Argamassa com 15% de resíduo, AC25 – Argamassa com 25% de resíduo e AC50 – Argamassa com 50% de resíduo.

Segundo a ABNT NBR nº 248 (2003) o ensaio de granulometria da areia e do resíduo foi determinado a partir de duas amostras cujas massas mediam 300g para cada teor de substituição. A massa total de amostragem dos agregados, separadamente foram secadas em estufa à temperatura de aproximadamente $105 \pm 5^\circ\text{C}$ e esfriadas à temperatura ambiente para preparação das amostras, com massas de 300g com as respectivas porcentagens de substituição. As amostras foram peneiradas durante três minutos, no peneirador automático de agregados miúdos, em que as peneiras estavam dispostas em ordem decrescente do topo para a base na seguinte ordem: 6,3 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm e o fundo.

O cimento utilizado para a produção das argamassas foi o Portland, com adição de pozolana, CP II – Z, classe 32, da marca Votorantim. A seleção deste material foi feita ao notar-se a baixa atividade pozolânica, conforme NBR 11578, que permite aos traços com adição de cinza volante, apresentar reação pozolânica e o traço composto.

A cal utilizada nos ensaios para a produção da argamassa foi a cal hidratada, CH III, da marca Votorantim, originada do trabalho de Castro (2015), os quais foram identicamente utilizados por Bortoletto (2017) e Pczieczek (2017). É uma cal dolomítica de alta qualidade e indicada para diversos tipos de argamassa uma vez que apresentam ação aglomerante e plastificante. A cal CH

III revela plasticidade a argamassa e a torna mais leve e fácil de trabalhar; aumenta a retenção de água, de modo que se perca água em excesso no substrato; melhora a resistência e a aderência da mistura.

A água potável proveniente da rede de distribuição municipal, fornecida pela concessionária local (SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná).

Para este trabalho foi elaborado uma argamassa de referência (testemunha), a qual não contém resíduo de cinza volante, para comparação com as demais argamassas com adição de resíduo.

Após a caracterização dos agregados, foram realizadas as misturas, com e sem adições de resíduos, com o auxílio de um misturador mecânico para confecção dos corpos de prova.

Com o intuito de manter a trabalhabilidade dos traços de argamassa, fixou-se o índice de consistência, assim, a quantidade de água acrescida à mistura determinou-se pelo índice de consistência, no intervalo de (255 ± 10) mm.

Os procedimentos adotados para os ensaios da argamassa no estado endurecido, estão descritos conforme Tabela 2.

Tabela 2: Ensaios no estado endurecido

Ensaio	CP	Desmoldagem (Horas)	Quantidade de CP por traço	Idade ensaio (Dias)
Resistência à tração na flexão	4x4x16 cm	48	3	7, 14, 28
Resistência à compressão axial	4x4x8 cm	48	4	7, 14, 28
Resistência à compressão	5x10 cm	48	3	28
Absorção de Água	5x10 cm	48	3	28

CP – Corpos de prova

Para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, foram moldados os corpos de prova com as dimensões 4x4x16 cm, tanto de referência como com porcentagens de substituição, conforme sugere a ABNT NBR nº 13.279 (2005).

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem como objetivo determinar a absorção de água dos corpos de prova de argamassa no estado endurecido, através da ascensão capilar. Conforme ABNT NBR 9779 (2012), o ensaio será realizado com três corpos de prova cilíndricos com dimensões 5x10cm com 400g aproximados de massa para todos os traços de argamassa. Dado os 28 dias de cura, os corpos de prova foram pesados e inseridos em uma estufa durante 24 horas à uma temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Após 24 em processo de secar na estufa, os mesmos foram resfriados em temperatura ambiente por mais 24 horas seguidos de uma nova pesagem. No transcorrer do ensaio, a partir da inserção em água (5 mm), os corpos de prova foram enxugados com a utilização de um pano e pesados com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h para mensuração de massa. Após a última pesagem, os corpos de prova foram submetidos a determinadas provas tais com à compressão diametral até seu rompimento, afim de verificar a distribuição de água em seu interior.

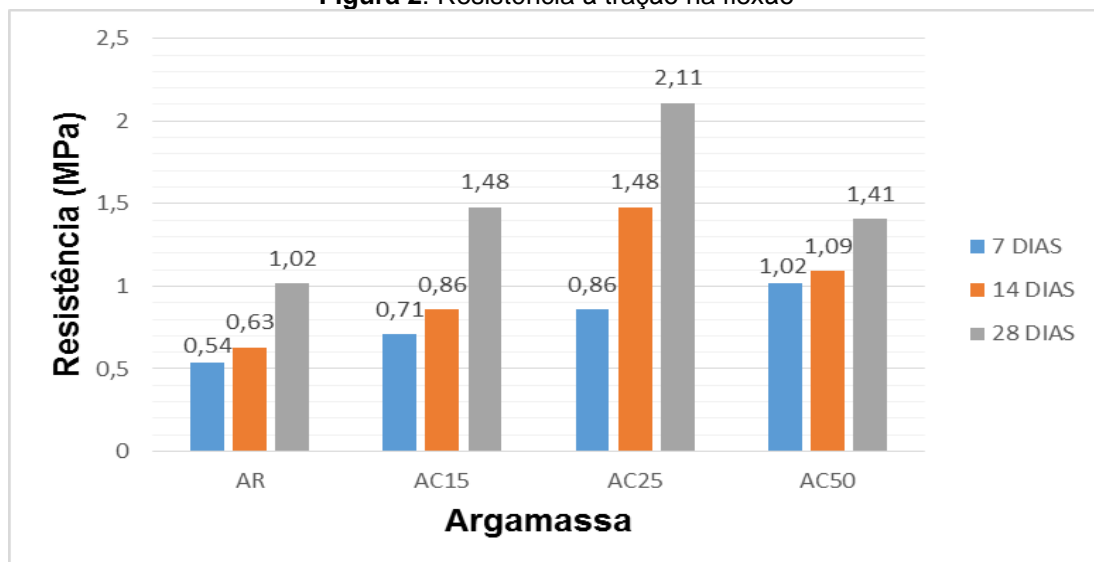
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de índice de consistência revelaram que com a adição do resíduo de cinza ocorreu um aumento na relação água/cimento para manter a trabalhabilidade no intervalo proposto. Esse mesmo resultado foi observado e registrado no estudo de Castro (2015) e Bessa (2011).

4.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados apontam que a melhor resistência à tração pertencem a mistura AC25, pois nota-se um acréscimo de resistência mínimo comparado ao traço de referência de 59,3%. Registrou-se que nenhuma parcela de substituição apresentou perda de resistência em relação à amostra de referência. Os resultados obtidos quanto a resistência a tração na flexão estão apresentados na Figura 2.

Figura 2: Resistência à tração na flexão



AR – Argamassa de referência; AC15 – Argamassa com 15% de resíduo, AC25 – Argamassa com 25% de resíduo e AC50 – Argamassa com 50% de resíduo.

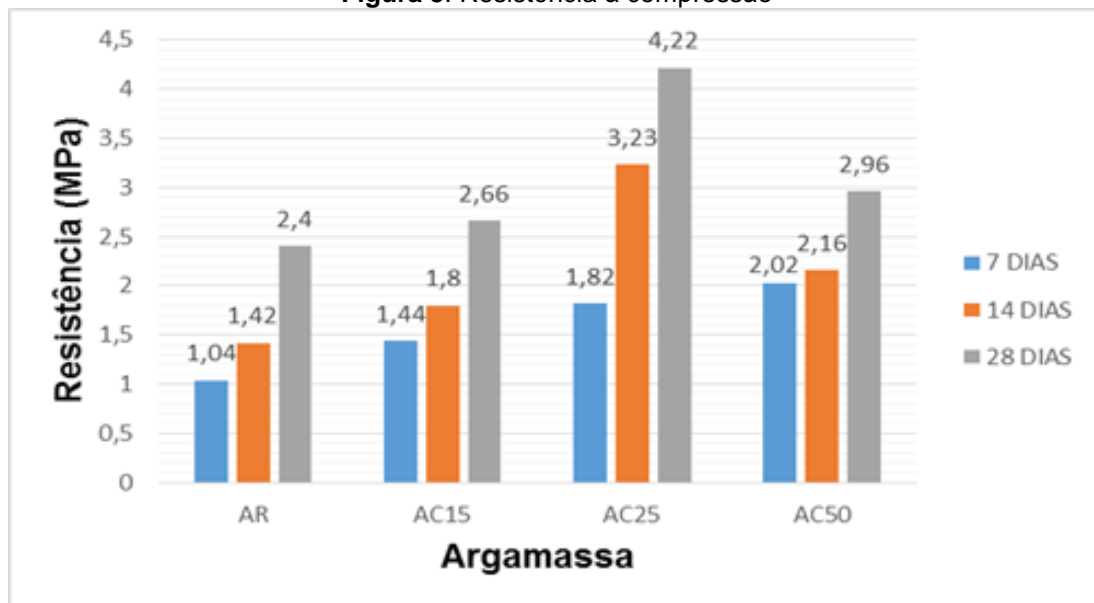
Comparando os resultados desse estudo aos resultados obtidos e registrados nos trabalhos de Bortoletto (2017), Lima (2010), Arruda (2016) e Oliveira (2015), observamos e destacamos que o teor de substituição de 25% apresentaram resultados mais satisfatórios para essa variável, por conta do empacotamento das partículas que diminui o índice de vazios e favorece o ganho de resistência.

4.2 Resistência à compressão

Os testes de resistência à compressão foram realizados com 7, 14 e 28 dias de secagem dos corpos de prova para ambas as misturas. Os corpos de prova utilizados atenderam as especificações da ABNT NBR nº 13276 (2005) em suas confecções. Portanto, foram utilizadas frações correspondentes à metade de cada corpo de prova para o ensaio de resistência à tração na flexão, ou seja, foram testados 6 corpos de prova para cada tempo de maturação (idade) em cada ensaio realizado.

Os resultados apontaram um acompanhamento dos resultados de resistência à tração, nos quais a argamassa com 25% de resíduo de cinza apresentaram uma maior índice de resistência média, com um resultado de 75,8% superior quando comparado com a argamassa de referência. Na Figura 3 os valores da resistência a compressão, mensurados em Mega Pascal e organizados ao longo do tempo de maturação dos corpos de prova.

Figura 3. Resistência à compressão



AR – Argamassa de referência; AC15 – Argamassa com 15% de resíduo, AC25 – Argamassa com 25% de resíduo e AC50 – Argamassa com 50% de resíduo.

De acordo com Metha (2014), o bom desempenho das argamassas com substituição de 10% a 30% pode ser explicado pelo eficiente preenchimento de vazios, denominado efeito *filler*, pois o maior grau de empacotamento das partículas diminui o índice de vazios e favorece o ganho de resistência.

4.3 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água analisada através dos corpos de prova com tempo de maturação de 28 dias para ambas e absorção de água por capilaridade com 72 horas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Absorção e ascensão das amostras

Argamassa	AR	AC15	AC25	AC50
Absorção (g/cm ²)	2,53	3,01	3,06	3,30
Ascensão (cm)	10,0	10,0	10,0	10,0

AR – Argamassa de referência; AC15 – Argamassa com 15% de resíduo, AC25 – Argamassa com 25% de resíduo e AC50 – Argamassa com 50% de resíduo.

Na análise de peso das amostras, é possível observar o ganho de massa conforme o tempo de contato com água. Todas as argamassas apresentaram um comportamento similar uma vez que apresentaram maior massa nas primeiras 3 horas de ensaio e menor absorção no intervalo de 48 para 72 horas, nas quais a massa praticamente permaneceu sem alteração.

Observa-se que a absorção de água para ambas amostras foi gradativa, conforme aumentava a porcentagem de substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de cinza, maior era a absorção. A ascensão das amostras, apresentou-se constante, todas as argamassas apresentaram ascensão total de água no corpo de prova. Com isso, podemos afirmar que a utilização do resíduo gera maior absorção de água e, se empregadas *in loco*, necessitarão de um tratamento prévio de impermeabilização.

De acordo com Páscoa (2012), as argamassas são materiais porosos com capacidade de absorção, possuindo poros capilares ou mesoporos - poros de tamanho intermediário que possibilitam a circulação de água no seu interior e influenciam a permeabilidade do material. Há um aumento significativo de absorção conforme o teor de resíduos é aplicado, isso se dá pela maior quantidade de água incorporada a mistura e o processo de evaporação, quando é atingido o estado de endurecimento, fazendo com que os poros das argamassas de resíduo apresentem poros maiores que a argamassa de referência (BORTOLETTO, 2017).

5. CONCLUSÃO

Baseando-se nas análises realizadas e através dos resultados obtidos pode-se concluir que as substituições de 25% do agregado natural por cinza volante podem ser utilizadas em aplicações de revestimento interno, pois atendem as exigências normativas conforme os resultados apresentados nesse trabalho.

As resistências de tração na flexão e à compressão apresentaram resultados satisfatórios em relação aos padrões normativos.

Este estudo indicou as potencialidades de utilização da cinza como um resíduo agregado que apresenta viabilidade técnica e econômica em substituição parcial de determinados agregados miúdos.

Destaca-se que um dos principais benefícios do reaproveitamento de cinzas de biomassa, tanto ambientais, como econômicos e sociais é a não geração de passivos ambientais no que se refere a destinação em aterros.

Os resultados obtidos permite inferir e sugerir que o uso da cinza como agregado da matriz cimentícia é uma alternativa viável, tanto nos parâmetros ambientais e de desempenho.

1. REFERÊNCIAS

ARRUDA, J. A.; et al., 2016. **Uso da cinza de biomassa na agricultura**: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. Revista Principia, João Pessoa, n.30, p. 13, 2016.

BESSA, S. A. L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. São Paulo, 181 p., 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos.

BORTOLETTO et al., 2017. Avaliação do resíduo cinza da madeira de eucalipto como substituição parcial de areia em argamassas de cimento. **Revista científica**. V. 10, n. 18. p. 1-14, 2017.

CASTRO, T. R. Argamassa mista com a cinza pesada e a cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar: propriedades no estado fresco e endurecido. Maringá, 144 p., 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá.

DURATEX, S. A. Gestão de resíduos: Um caso de sucesso na Duratex S.A. Projeto de Sustentabilidade In:21º Prêmio de Mérito Ambiental. V.1, n.1, p. 1-32, 2015.

FOELKEL, Celso. **Eucalyptus Online Book e Newsletter**. São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2017.

LIMA, et al., 2017. Caracterização de concretos confeccionados com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. p. 1-13. Argentina: 2010.

LIMA et al., 2010. Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, p. 87-97. 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo, 2008. 674 P.

MMA. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. V. 3, n. 1, p. 47-56, 2014.

NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos** – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos** – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos** – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

OLIVEIRA, R.P. **Estudo da influência do teor de finos dos agregados reciclados mistos nas propriedades das argamassas de revestimento**. Santa Maria, p. 179, 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores**. Lisboa, p. 136, 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Engenharia, Ciência e Tecnologia.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduo de borracha de pneus inservíveis**. Santa Catarina, p. 154, 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina.