

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
MESTRADO E DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Doris Sippel Dörr

VALORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE UM
COMPÓSITO DE MATRIZ METÁLICA

Santa Cruz do Sul

2018

Doris Sippel Dörr

VALORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE UM
COMPÓSITO DE MATRIZ METÁLICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado, área de concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Dr. Jorge André Ribas Moraes

Co-orientadora: Dra. Adriane Lawisch Rodríguez

Santa Cruz do Sul

2018

Doris Sippel Dörr

VALORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE UM
COMPÓSITO DE MATRIZ METÁLICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado, área de concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Dr. Jorge André Ribas Moraes
Professor orientador – UNISC

Dra. Adriane Lawisch Rodríguez
Professora co-orientadora – UNISC

Dr. Daniela Lupinacci Villanova
Professora examinadora - IFRS

Dr. Diosnel Antonio Rodrigues Lopez
Professor examinador – UNISC

Santa Cruz do Sul
2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, queria agradecer à minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos e em todas as minhas escolhas.

Ao prof. Jorge André Ribas Moraes e à prof. Adriane Lawisch Rodriguez por acreditarem que este trabalho daria certo e aceitarem me orientar. Mas principalmente pela amizade construída ao longo destes dois anos.

Ao técnico Wilson Lombardi pela enorme ajuda durante toda a parte experimental deste trabalho.

Aos bolsistas do Laboratório de Valoração e Coprocessamento de Resíduos I: Adrison Loreto, Bruna Sins, Chico Priebnow, Eduarda Finatto, Eduardo da Cunha, Maira Krann, Pâmela Mantey e Rafael Martins pela companhia diária no laboratório e por aceitarem minhas brincadeiras sem graça.

Às funcionárias do Laboratório de Resíduos Sólidos e Tratamento de Efluentes: Ana Cristina Rabuske, Fernanda Kretschmer, Grazi Seibert e Priscila Mariani pela amizade e pelos incontáveis chimarrões.

Aos meus colegas de pós-graduação: Caroline Cipolatto, Felipe Martini, Giovanni Lanzarin, Gleison Celente, Gustavo Colares, Jéferson Dallemole, João Siebert, Letícia Weis, Luis Marion, Mariana Berlt, Núbia Freitas e Ricardo Boettcher pela amizade, pelas risadas, pelos lanches, pelos churrascos e pela companhia que fizeram esses dois anos passarem voando (mestres Jedis).

Às gurias da salinha, Maiara Souza e Valéria Boettcher, pelas diversas risadas e chimarrões nesse último ano.

À Natália Carniel pela convivência diária no Jardim Universitário, pelas diversões, conversas e jantas. Também por me aguentar nesses dois anos dividindo o apartamento.

Às funcionárias do PPGTA, Carla de Oliveira e Raquel Schultz, por serem sempre muito prestativas resolvendo nossas diversas dúvidas.

Aos demais professores e funcionários do PPGTA pela convivência e pelos conhecimentos repassados.

E por fim, à todas as pessoas que fizeram minha estadia em Santa Cruz do Sul se tornar mais leve e divertida.

Muito obrigada!

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos industriais e de consumo no meio ambiente é uma prática incorreta e ainda realizada nos dias atuais. A necessidade de encontrar outros fins para esses resíduos é de suma importância. Com isso em vista, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a incorporação de um resíduo agroindustrial (cinza da casca de arroz) em resíduos de alumínio (latas de bebidas e resíduo de indústria metalúrgica) produzindo um compósito de matriz metálica. A caracterização destes resíduos separadamente foi realizada através de análise de difração de raios X, fluorescência de raios X e espectrometria óptica. A cinza de casca de arroz é um produto que apresenta sílica com alto grau de pureza, em torno de 90%. O processo de reciclagem de alumínio é extremamente importante porque reduz o volume de bauxita que precisaria ser extraída para produzir a mesma quantidade de matéria prima e também produz um material com elevado teor de alumínio, acima de 95%. Através da técnica de fundição por agitação, a cinza da casca de arroz foi incorporada à matriz de alumínio. Análises em microscópio óptico e eletrônico de varredura foram realizadas confirmando a introdução do reforço na matriz. Para investigar as propriedades deste compósito, testes de dureza, força de impacto e de densidade foram efetuados, comprovando a melhora das propriedades deste material.

Palavras-chave: arroz; cinza da casca de arroz; alumínio; resíduos; compósito de matriz metálica.

ABSTRACT

The inadequate disposition of industrial and consumption waste in the environment is an incorrect practice and very accomplished in the present days. The need to find other purposes for such waste is of extreme importance. The objective of this research was to evaluate the incorporation of an agro industrial residue (rice hull ash) into aluminum waste (beverage cans and metallurgical industry residue) producing a metallic matrix composite. The characterization of these wastes separately was performed by X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence and optical spectrometry. Rice husk ash is a product with high purity silica, with about 90%. The aluminum recycling process is extremely important because it reduces the volume of bauxite that would need to be extracted to produce the same amount of raw material and also produce a material with 95% of purity. By means of the stirring melting technique, the rice husk ash was incorporated into the aluminum matrix. Optical and scanning electron microscope analyzes were carried out confirming the introduction of reinforcement in the matrix. To investigate the properties of this composite, tests of hardness, impact strength and density were performed, attesting the improvement of some properties of this material.

Key-words: rice; rice husk ash; aluminum; residues; metal matrix composite.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva da análise em TGA da casca de arroz.	19
Figura 2 - Representação esquemática da sílica nas configurações (a) cristalina e (b) amorfa.	22
Figura 3 - Consumo doméstico de alumínio por setor em 2015.....	24
Figura 4 - Processo de reciclagem do alumínio no Brasil.	25
Figura 5 - Índice de reciclagem de latas de alumínio (%) em 2015.	27
Figura 6 - Relação entre sucata recuperada e consumo doméstico do Brasil e outros países em 2015.....	27
Figura 7 - Redução no consumo de recursos naturais em função da reciclagem do alumínio no ciclo de vida de 1000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas.	28
Figura 8 - Classificação das partículas de reforço.	29
Figura 9 - Layout da configuração do processo de fundição por agitação.	32
Figura 10 - (a) forno industrial utilizado para o processo de fundição e (b) cadinho de aço. ...	38
Figura 11 - Procedimento para produção do compósito.....	39
Figura 12 - Sistema mecânico de agitação acoplado ao forno de fundição.....	40
Figura 13 – Sistema para determinação da densidade.....	41
Figura 14 - Equipamento utilizado para o ensaio Charpy	42
Figura 15 - Corpo de prova para o teste de força de impacto.....	42
Figura 16 - (a) casca de arroz e (b) cinza da casca de arroz.	44
Figura 17 - Difratoograma da CCA gerada pela queima da casca de arroz a 650 °C.....	44
Figura 18 - Difratoograma da CCA gerada pela queima da casca de arroz a 800 °C.....	45
Figura 19 - Resultados da difração de raio X da cinza de casca de arroz.	45
Figura 20 - (a) alumínio oriundo da indústria e (b) lingote produzido.....	47
Figura 21 - (a) volume de latas amassadas e (b) lingote produzido através da fundição.	48
Figura 22 - Micrografia da matriz da amostra 1.....	50
Figura 23 - Micrografia da amostra 1.....	50
Figura 24 - Micrografia da matriz da amostra 2.....	50
Figura 25 - Micrografia da amostra 2.....	51
Figura 26 - Micrografias das amostras 1 e 2.	51
Figura 27 - Gráfico da variação da densidade das amostras.....	52
Figura 28 - Resultado do teste de dureza Brinell.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química das cinzas de casca de arroz.	20
Tabela 2 - Composição química da cinza da casca de arroz queimada em diferentes temperaturas.....	20
Tabela 3 - Procedimentos realizados em cada amostra.	36
Tabela 4 - Produtos utilizados para a produção dos compósitos.....	39
Tabela 5 - Composição da cinza da casca de arroz queimada em diferentes condições.	46
Tabela 6 - Média da composição química do alumínio reciclado.	48
Tabela 7 - Resultado do ensaio de força de impacto Charpy.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA – Cinza da casca de arroz

CMM – Compósito de matriz metálica

LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul

TGA - Análises termogravimétricas

MEV – Microscópio eletrônico de varredura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Limitações da pesquisa.....	14
1.2 Objetivo	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Indústria arroseira.....	15
2.1.1 Casca de arroz.....	15
2.1.2 Cinza da casca de arroz	16
2.1.2.1 Métodos de obtenção da cinza da casca de arroz	17
2.1.2.1.1 Tratamentos químicos-térmicos	17
2.1.2.1.2 Processo de combustão.....	18
2.1.2.2 Composição química da cinza da casca de arroz.....	19
2.1.2.3 Coloração da cinza da casca de arroz	21
2.1.2.4 Aplicações	21
2.1.3 Sílica	21
2.2 Indústria do alumínio.....	22
2.2.1 Reciclagem do alumínio	26
2.3 Compósitos de matriz metálica.....	28
2.3.1 Definições e classificações	28
2.3.2 Interface reforço-matriz.....	30
2.3.3 Processos de fabricação	31
2.3.4 Propriedade dos compósitos de matriz metálica	33
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Análise da gestão dos resíduos nas indústrias arroseiras	35
3.2 Casca de arroz.....	35

3.2.1	Processo de lavagem.....	36
3.2.2	Processo de combustão.....	36
3.2.3	Análise da composição química e mineralógica da cinza	36
3.2.4	Classificação da cinza a utilizar.....	37
3.3	Alumínio reciclado	37
3.3.1	Processo de fundição	37
3.3.2	Análise da composição	38
3.4	Compósito de cinza da casca de arroz e alumínio reciclado	38
3.4.1	Produção do compósito	38
3.4.2	Microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura	40
3.4.3	Teste de densidade.....	40
3.4.4	Ensaio de dureza Brinell.....	41
3.4.5	Ensaio de força de impacto Charpy	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Análise da gestão dos resíduos nas indústrias arroseiras	43
4.2	Casca de arroz.....	43
4.2.1	Processo de carbonização	43
4.2.2	Caracterização química e mineralógica.....	44
4.3	Alumínio reciclado	46
4.3.1	Processo de fundição dos resíduos de alumínio da indústria metalúrgica.....	46
4.3.2	Processo de fundição dos resíduos de alumínio oriundo das latas de bebidas	47
4.3.3	Caracterização do alumínio utilizado	48
4.4	Compósito de matriz metálica	49
4.4.1	Microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura	49
4.4.2	Teste de densidade.....	51
4.4.3	Ensaio de dureza Brinell.....	52
4.4.4	Ensaio de força de impacto Charpy	53

5 CONCLUSÃO.....	54
6 REFERÊNCIAS	55
ANEXO A - Questionário para engenhos de arroz da região do Vale do Rio Pardo.....	62
ANEXO B - Questionário para engenhos de arroz da região do Vale do Rio Pardo	64

1 INTRODUÇÃO

O consumo humano por bens materiais está crescendo cada vez mais, assim como a preocupação da sociedade com a proteção ambiental pois a mesma está vinculada com a segurança da vida na Terra. A legislação brasileira está crescendo conjuntamente com este interesse da população. Em razão disto, as empresas precisam buscar a sustentabilidade, alcançando a geração mínima de resíduos, a poluição zero, a redução do consumo de água, a diminuição de riscos aos trabalhadores e a eficiência máxima dos recursos (MARTINS e DA SILVA, 2015). Segundo Thode Filho et al. (2013), a Tecnologia Ambiental propõe fortalecer a concorrência e eficiência das empresas utilizando um sistema de gerenciamento e aproveitamento de resíduos como matéria-prima para desenvolver novos materiais.

A população, juntamente com as indústrias, está gerando um volume cada vez maior de resíduos sólidos, sejam eles resíduos sólidos urbanos ou industriais. Vinculado a isto, a problemática do descarte inadequado destes resíduos está preocupando ainda mais os ambientalistas, pois os impactos causados por práticas irregulares de descarte são evidentes. Assim, procuram-se técnicas para aumentar a eficiência da produção e reduzir os impactos associados à fabricação (DOS SANTOS et al., 2014). Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos sólidos nos processos industriais e de reaproveitar os resíduos no processo produtivo ou como matéria-prima para outro processo, o incentivo à pesquisa vem aumentando conjuntamente com o interesse das indústrias em aperfeiçoar seus sistemas produtivos.

É possível recolocar os resíduos, sejam eles industriais ou urbanos, na cadeia de produção através de processos de reciclagem, valorizando os resíduos e agregando valor aos produtos que eram encaminhados para aterros. Este processo otimiza a relação entre energia, meio ambiente e uso de matérias-primas, implicando em um melhor aproveitamento destes recursos, resultando em um procedimento ambientalmente favorável e vantajoso ao desenvolvimento econômico sustentável (DOS SANTOS et al., 2014).

Com relação aos novos conceitos introduzidos nas empresas, o pensamento para a reutilização de resíduos produzidos nas indústrias deve ser estudado para evitar a poluição do meio ambiente e a utilização de novos recursos naturais. Desta forma, o estudo da utilização da cinza da casca de arroz, resíduo produzido em grandes quantidades no mundo devido ao elevado consumo de arroz, como fonte de silício para produzir um compósito de alumínio-silício torna-se relevante pois através deste processo ocorre a valoração de resíduos industriais e domésticos. Além de utilizar um resíduo que apresenta uma grande problemática de destinação (casca de arroz), este estudo avaliou a utilização do alumínio reciclado ao invés do alumínio primário,

oriundos de duas fontes. Além disso, realizou-se uma análise da gestão de resíduos, especificamente da casca de arroz, nas indústrias beneficiadoras de arroz do Vale do Rio Pardo.

1.1 Limitações da pesquisa

A realização desta pesquisa apresentou algumas limitações referentes à tecnologia dos equipamentos à disposição na universidade. Para a obtenção de melhores resultados, o forno de fundição deveria ser equipado com um sistema de vácuo para evitar a reação do oxigênio com o alumínio, que ocorre muito facilmente. Além disso, um sistema de agitação com controle de velocidade e acoplado ao equipamento teriam otimizado o processo.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Produção de um compósito de alumínio-silício tendo como matéria prima alumínio reciclado e cinzas da casca do arroz.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Analisar como ocorre a gestão do resíduo casca de arroz nas indústrias beneficiadoras de arroz do Vale do Rio Pardo;
- b. Analisar a composição da cinza da casca de arroz como fonte de silício e do alumínio fundido oriundo de resíduo industrial e doméstico;
- c. Avaliar as características do compósito produzido pela mistura do alumínio reciclado com a cinza da casca de arroz.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria arrozeira

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo. O Brasil destaca-se neste setor de produção, estando entre os 10 maiores produtores do mundo (IBGE, 2015). Segundo Conab (2017), a produção de arroz no Brasil na safra de 2015/2016 foi em torno de 10,6 milhões toneladas, sendo que 80% desta produção concentra-se na região Sul do país. O cultivo do arroz está distribuído principalmente entre os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso, em ordem decrescente de volume de produção. O Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro, correspondendo a 69% da produção nacional, possuindo a maior área plantada (1 milhão de hectares), equivalendo à 54% de toda a área nacional cultivada (MAPA, 2016; CONAB, 2017).

Após a colheita, o arroz precisa ser beneficiado para estar apto para o consumo humano. O beneficiamento do arroz é um processo obrigatório independentemente do tipo de arroz requerido. Este procedimento gera resíduos em grandes volumes, dentre os quais podem ser citados a casca de arroz, o farelo e os grãos quebrados (quirera). A casca de arroz é um resíduo que destaca-se devido ao elevado volume produzido e a demora para sua incorporação quando depositada no solo (LORENZETT et al., 2012).

2.1.1 Casca de arroz

A casca de arroz é um revestimento formado durante o crescimento do grão, apresentando elevado volume e baixa densidade. É constituída aproximadamente de 50% de celulose e hemicelulose, 26% de lignina, 20% de componentes inorgânicos e 4% de outros componentes orgânicos. Os dois últimos irão depender de diversos fatores da produção, como clima, solo, utilização de fertilizantes e a variedade de planta utilizada. Dos componentes inorgânicos, 94% é sílica, sendo que os outros 6% são óxidos de metais, como K_2O , CaO e MgO (YALÇIN e SEVINÇ, 2001; DE SOUZA et al., 2002; MA et al., 2011).

A casca de arroz apresenta quatro camadas sendo elas a epiderme externa, a esclerênquima ou fibra hipoderme, a célula parênquima esponjosa e a epiderme interna. Estudos afirmam que a sílica está localizada na epiderme externa e nos espaços entre os tecidos epidérmicos. Contudo, uma pequena quantidade encontra-se na epiderme interna, junto ao grão de arroz (PATEL et al., 1987; DELLA et al., 2006). A sílica no arroz encontra-se na forma amorfa

hidratada assim como a sílica gel. Uma parte da sílica está unida com os polissacarídeos formando uma ligação entre o silício e os compostos orgânicos (PATEL et al., 1987).

A casca representa 20% em peso da semente do arroz, fazendo com o que o volume produzido deste resíduo seja muito elevado. Esta constatação fica mais evidente quando se avalia a safra de 2015/2016, com uma produção de aproximadamente 2,1 milhões de toneladas de casca de arroz. Dessa forma, este resíduo passa a ser um problema a ser gerenciado por essa cultura (DE SOUZA et al., 2000; MA et al., 2011; PEREIRA et al., 2015; CONAB, 2017). A casca possui baixa densidade e propriedades nutritivas, apresenta uma superfície dura e um alto teor de sílica, sendo dificilmente decomposta por bactérias (LI et al., 2011; FERNANDES et al., 2015; PENHA et al., 2016).

Um aumento da utilização da casca de arroz como fonte de energia vem sendo observado nos últimos tempos devido ao elevado poder calorífico da casca (aproximadamente 16720 kJ/kg), sendo considerada uma fonte de energia renovável. A energia produzida através da queima da casca é utilizada no processo de secagem e parbolização do arroz. Esta prática está se tornando mais comum devido à adversidade do transporte, pois o elevado volume de cascas aliado a sua baixa densidade de empacotamento torna o carregamento um processo de custo elevado. Com a queima, o volume de resíduo é reduzido, além de ser uma fonte alternativa de energia para a empresa (DELLA et al., 2001; DELLA et al., 2002; LI et al., 2011).

A cinza produzida durante a queima vem sendo utilizada para diversos fins pois apresenta um alto teor de óxido de silício e um elevado valor agregado (DELLA et al., 2001; DELLA et al., 2002; LI et al., 2011). Entretanto, é necessário ter cuidado ao realizar esta prática na indústria, visto que o descarte inadequado das cinzas no meio ambiente pode causar contaminação, causando efeitos drásticos no meio aquático e terrestre e para a saúde humana. Devido as cinzas conterem alta concentração de sílica, a mesma pode causar silicose. A silicose gera problemas pulmonares em consequência da inalação de partículas de sílica naquelas pessoas que estão expostas ao seu contato (MENEZES et al., 2008; LI et al., 2011; PEREIRA et al., 2015).

2.1.2 Cinza da casca de arroz

A queima da casca de arroz com ar produz uma cinza que apresenta um elevado teor de óxido de silício (acima de 90%) e a sua composição irá variar de acordo com as condições de plantio do arroz. Os principais elementos encontrados em sua composição são sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco, os quais são considerados como impurezas em vários processos (DELLA et al., 2002; MENEZES et al., 2008).

Entre as características da cinza, as mais notórias são o alto ponto de fusão, sua elevada porosidade e superfície específica, elevada reatividade durante mudanças na estrutura e reações químicas da sílica e baixa porcentagem de ferro (HAMAD e KHATTAB, 1981). Essas características tornam este produto muito interessante para diversos setores da indústria.

A sílica presente na cinza pode estar na forma amorfa ou cristalina, dependendo da temperatura de queima e do método de obtenção. Em temperaturas baixas ou em curtos tempos de exposição em altas temperaturas, a sílica apresenta-se predominantemente na forma amorfa, a qual é a mais indicada, visto sua maior reatividade (DELLA et al., 2001). Cordeiro et al. (2014) também observaram que com o aumento da temperatura de queima, a quantidade de sílica reativa diminui. Segundo Yalçin e Sevinç (2001), a combustão em temperaturas acima de 700 °C transforma a sílica amorfa em cristalina, ocorrendo um aumento da densidade juntamente com a formação de sílica cristalina.

2.1.2.1 Métodos de obtenção da cinza da casca de arroz

2.1.2.1.1 Tratamentos químicos-térmicos

Muitos estudos analisaram a aplicação de tratamentos químicos previamente ao tratamento térmico (PATEL et al., 1987; YALÇIN e SEVINÇ, 2001; FERNANDES et al., 2014), pois estes tratamentos podem solubilizar uma notável quantidade dos elementos sódio, potássio, ferro, manganês, cálcio e alumínio, os quais são considerados como impurezas.

O estudo conduzido por Fernandes et al. (2014) analisou a utilização de três ácidos fracos (ácidos acéticos, cítrico e oxálico) em solução a 10%. Os autores sugerem a realização desta lavagem ácida com o intuito de obter a sílica com elevado teor de pureza. Conforme seus resultados, a casca que não foi submetida à lavagem ácida apresentou 3,5% em massa de impurezas. Enquanto que as cascas que passaram pelo tratamento ácido apresentaram em média 0,3% de impurezas. No estudo, todos os ácidos apresentaram-se eficientes para a obtenção de sílica com elevado teor de pureza.

Yalçin e Sevinç (2001) também testaram diversos tratamentos. Os tratamentos químicos executados foram banhos ácidos com HCl e H₂SO₄ e alcalinos com solução de NaOH. A queima foi realizada em diferentes atmosferas: ar estático, fluxo de ar, fluxo de argônio e fluxo de oxigênio. Além disto, amostras não tratadas foram calcinadas a temperaturas de 500, 600, 700 e 800 °C. Com os estudos os pesquisadores concluíram que a amostra que apresentou uma

distribuição de tamanho de partícula homogênea em comparação com as outras foi a que passou por um processo de lixiviação ácida com HCl e após queima à 600 °C.

2.1.2.1.2 Processo de combustão

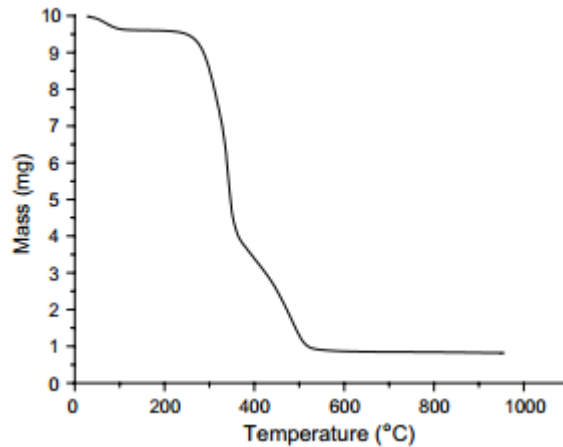
Para a obtenção da cinza da casca de arroz (CCA) com a melhor composição, diversos estudos analisaram os principais fatores variantes deste processo: temperatura, tempo de queima e tipo de atmosfera. Os materiais voláteis da casca de arroz são a matéria orgânica e água. A eliminação destes materiais é não-espontânea em uma atmosfera não oxidante, sendo constituída de gases redutores advindos da casca de arroz (PATEL et al., 1987).

James e Rao (1986) analisaram as características da decomposição térmica da casca de arroz. O comportamento observado é explicado através da sobreposição da decomposição da celulose e da lignina, os quais são os componentes majoritários da casca de arroz. Em temperaturas em torno de 50 a 100 °C observa-se a perda de água adsorvida. Outra expressiva perda de massa (entre 45 a 60%) é devido a decomposição da celulose que transforma-se em materiais voláteis combustíveis, água e dióxido de carbono.

Tarley e Arruda (2004) também investigaram a decomposição da casca de arroz através de análises termogravimétricas (TGA) até em torno de 900 °C. A Figura 1 apresenta a porcentagem de perda de massa em relação ao aumento da temperatura. A primeira perda de massa expressiva acontece em 250 °C e foi atribuída à perda da umidade que continha na casca de arroz. Entre 250 e 360 °C ocorre uma grande variação da massa devido à decomposição da hemicelulose e celulose, assim como a perda de água adsorvida na casca de arroz. A degradação da lignina ocorre entre 360 e 525 °C. Não observaram nenhuma perda de massa após 950 °C.

Um estudo conduzido por Cordeiro et al. (2014) analisou a estrutura morfológica de cinzas de casca de arroz queimadas em diversas temperaturas (500, 650, 800, 950 e 1100 °C). Segundo Cordeiro, a queima em temperaturas acima de 800 °C já apresenta sílica em estrutura cristalina na amostra. Entretanto, traços de quartzo são observados em todas as amostras. Os pesquisadores também analisaram o teor de amorfismo das amostras obtendo valores maiores de 80% para as cinzas oriundas dos processos de combustão com temperaturas abaixo de 800 °C. Para o processo de queima à 950 °C o teor é de 68,2%, teor relativamente alto visto que a amostra é classificada como cristalina.

Figura 1 - Curva da análise em TGA da casca de arroz.



Fonte: Tarley e Arruda (2004).

2.1.2.2 Composição química da cinza da casca de arroz

A Tabela 1 apresenta a composição química da CCA segundo diversos estudos conduzidos por De Souza et al. (2000), Della et al. (2006), Menezes et al. (2008), Fernandes et al. (2014) e Pereira et al. (2015). A CCA apresenta sílica como o constituinte majoritário, constatando-se que o valor médio é em torno de 95%, independentemente do tipo de tratamento conduzido. Entretanto, as cinzas que apresentaram o maior teor de pureza passaram por tratamentos químicos previamente ao tratamento térmico.

O estudo conduzido por Cordeiro et al. (2014) analisou a composição química da CCA carbonizada nas temperaturas de 500, 650, 800, 950 e 1100 °C. A Tabela 2 apresenta as porcentagens dos óxidos encontrados na estrutura da CCA. Cordeiro e pesquisadores concluíram que todas as amostras apresentam um teor acima de 80% de sílica na composição da cinza e que o aumento da temperatura de queima gera uma cinza mais rica em sílica.

Tabela 1 - Composição química das cinzas de casca de arroz.

Estudo	De Souza et al. (2000)	De Souza et al. (2000)	Della et al. (2006)	Menezes et al. (2008)	Fernandes et al. (2014)	Pereira et al. (2015)
	A	B				
Tratamento químico						
SiO₂ (%)	98,94	99,69	96,91	95,02	96,5	92,99
Al₂O₃ (%)	0,08	0,06	0,43	0,45	0,13	0,18
Fe₂O₃ (%)	0,06	0,05	0,02	0,1	0,07	0,43
CaO (%)	0,75	0,05	0,07	0,51	0,56	1,03
Na₂O (%)	0,01	0,01	0,07	0,13	0,08	0,02
K₂O (%)	0,1	0,1	0,01	1,9	1,37	0,72
MnO (%)	0,001	0,001	0,01	0,34	0,17	-
TiO₂ (%)	0,01	0,01	0,01	0,02	-	-
MgO (%)	0,05	0,03	0,05	0,42	-	0,35
P₂O₅ (%)	-	-	0,02	0,55	0,42	-

-: não identificado

A: ácido sulfúrico 3 wt% à 150 °C, 7 atm por 1 hora, após queima em 550 °C por 2 horas.

B: ácido clorídrico 20 vol% durante 24 horas, seguido por ácido sulfúrico 20 vol% por 24 horas, após queima em 550 °C por 2 horas.

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Composição química da cinza da casca de arroz queimada em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	500	650	800	950	1100
SiO₂ (%)	89,58	85,08	90,94	90,86	91,94
Al₂O₃ (%)			ND		
Fe₂O₃ (%)	0,17	0,38	0,18	0,16	0,21
CaO (%)	1,34	1,23	1,24	1,28	1,40
Na₂O (%)			ND		
K₂O (%)	2,78	2,59	2,24	2,23	2,15
MgO (%)	1,02	0,96	1,06	1,04	1,14
SO₃ (%)			ND		

Fonte: Cordeiro et al. (2014).

ND: não definido.

2.1.2.3 Coloração da cinza da casca de arroz

Segundo Della et al. (2001) e Menezes et al. (2008), a coloração da cinza irá depender dos componentes minoritários e das condições de queima. A cinza irá apresentar uma coloração preta ou cinza escura quando a casca de arroz é parcialmente queimada, possuindo um elevado teor de carbono residual. Já a coloração branca, acinzentada ou púrpura representa um processo de combustão completo, com a cor variando devido as impurezas (óxidos) contidas na amostra.

2.1.2.4 Aplicações

A casca do arroz vem sendo aplicada na fabricação de blocos e painéis utilizados na construção civil como substituinte da fibra de madeira. Além disso, cada vez mais vem sendo empregada como substituta à lenha nas indústrias de beneficiamento do arroz, visto o seu elevado poder calorífico e custo baixo (DELLA et al., 2001).

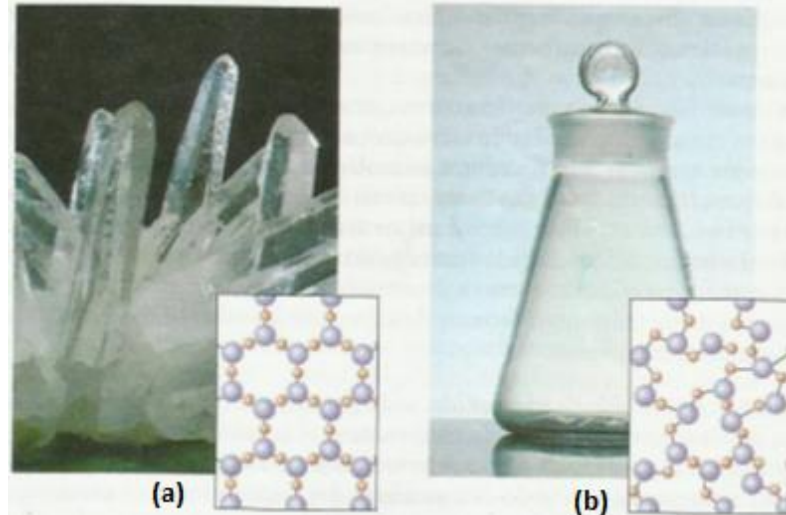
As aplicações da CCA apresentam um vasto campo, como a utilização em materiais inorgânicos, com ênfase em vidros, refratários, tubos cerâmicos e abrasivos, e também para estabilização de solos e aterros sanitários. Outras aplicações da sílica encontram-se na área da agricultura, na indústria de higiene pessoal e cosméticos, indústria de bebidas e na indústria sucroalcooleira (DELLA et al., 2001; FERNANDES et al., 2014). A sílica extraída da cinza é também muito utilizada no refino de óleos vegetais, em detergentes, adesivos e em colunas cromatográficas (MA et al., 2012). Além disto vem sendo empregada como fonte para a produção de silício, de carboneto de silício e nitreto de silício (YALÇIN e SEVINÇ, 2001; DELLA et al., 2002).

2.1.3 Sílica

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, atrás apenas do oxigênio. É encontrado em grandes quantidades nas rochas, na forma de silicatos, e na areia, na forma de sílica. O dióxido de silício (SiO_2), mais conhecido como sílica, é encontrado na natureza na forma pura, hidratada ou como mineral. Quartzo, areia, arenitos e quartzitos são exemplos de sílica no estado puro. Já na forma mineral, a sílica encontra-se em associações que resultam na origem de feldspatos, silicatos de magnésio, entre outros (DELLA et al., 2006; ATKINS e JONES, 2012).

A sílica pode ser encontrada em duas configurações: amorfa e cristalina. Exemplos da forma cristalina são o quartzo, sendo a forma mais frequente (Figura 2a), a tridimita e a cristobalita. Já o vidro configura-se como amorfo, como ilustrado na Figura 2b. A configuração amorfa é reativa, sendo que a forma cristalina é praticamente inerte (DELLA et al., 2001; ATKINS e JONES, 2012).

Figura 2 - Representação esquemática da sílica nas configurações (a) cristalina e (b) amorfa.



Fonte: adaptado de Atkins e Jones (2012).

2.2 Indústria do alumínio

O alumínio é o metal em maior quantidade na crosta terrestre na forma de óxido de alumínio (Al_2O_3), aproximadamente 8% em peso, e o terceiro elemento mais abundante, ficando atrás somente do oxigênio e do silício. Este elemento apresenta uma baixa densidade ($2,7 \text{ g/cm}^3$), sendo um metal resistente e excelente condutor elétrico e térmico. Além disto, o alumínio é resistente à corrosão devido à formação de um filme óxido. O ponto de fusão é em torno de $660 \text{ }^\circ\text{C}$, o qual é relativamente baixo se comparado ao do aço ($1570 \text{ }^\circ\text{C}$), podendo ser mais baixo quando na forma de liga. A sua resistência mecânica pode ser aumentada com a adição de elementos de liga (como silício, cobre e manganês) (ATKINS e JONES, 2012; DAVID e KOPAC, 2012).

As características físico-químicas do alumínio o tornam um excelente material para utilização em construções e na indústria aeroespacial, sendo também muito utilizado em linhas de alta tensão devido à sua leveza e alta condutibilidade (ABAL, 2007; ATKINS e JONES, 2012). Estas propriedades podem ser aperfeiçoadas com a adição de elementos de liga, como cobre,

zinco, silício e magnésio, ou através de tratamentos térmicos (JUNIOR e DINIZ, 2014; SANTOS et al., 2016).

O principal minério do qual extrai-se alumínio é a bauxita, que é constituída por óxidos hidratados de alumínio cujo teor é entre 35 a 45%. A extração do alumínio ocorre através do processo Bayer, que foi desenvolvido por Karl Josef Bayer em 1888, o qual basicamente extrai alumina da bauxita. Através do processo de Hall-Heróult, a alumina é processada e então o alumínio metálico é extraído (SHINZATO e HYPOLITO, 2005; ABAL, 2007; SCHLESINGER, 2013). Aproximadamente são necessários 5 kg de bauxita para produzir 2 kg de alumina e 1 kg de alumínio primário (ABAL, 2007).

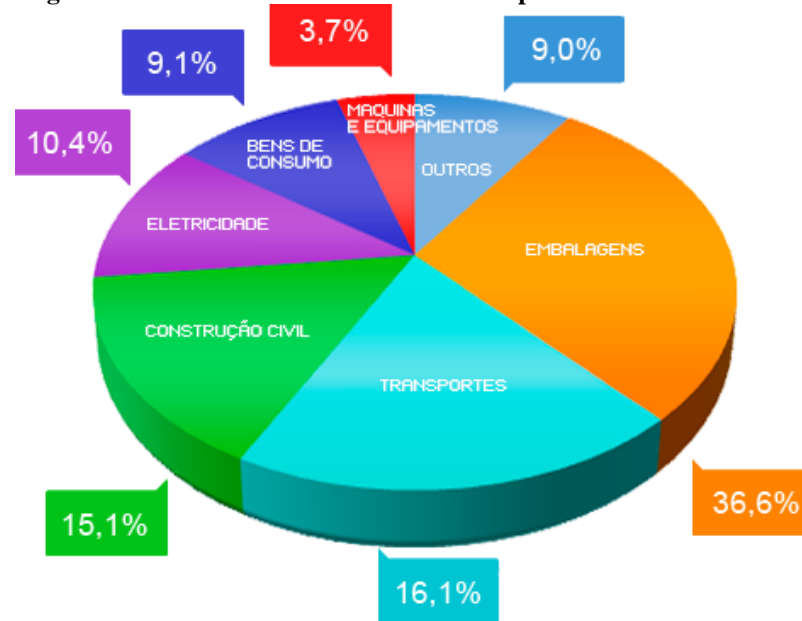
Como o alumínio é um metal não-ferroso, ele pode ser empregado em diversas aplicações eletroeletrônicas. Além do mais, é um metal não pirofórico e não tóxico, aumentando assim a extensão de aplicações, como por exemplo, na indústria farmacêutica e de alimentos (JUNIOR e DINIZ, 2014).

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL), a produção de alumínio primário no Brasil em 2016 foi de 792,7 mil toneladas (ABAL, 2017a). Já a produção mundial neste mesmo ano, segundo o *Internacional Aluminium Institute* (IAI), foi de 58,890 milhões toneladas. O maior produtor mundial é a China com produção estimada de 31,641 milhões toneladas (IAI, 2017). A Figura 3 apresenta o consumo doméstico do alumínio, podendo-se observar que o setor de embalagens foi o que mais utilizou alumínio no ano de 2015 com 36,6%, seguido atrás pelo setor de transportes, com apenas 16,1%. A partir da análise do gráfico, pode-se afirmar que o alumínio apresenta utilidade em diversos setores, sendo um importante material para variados ramos industriais.

Ao adicionar silício como componente de liga no alumínio, observa-se o aumento da fluidez do alumínio líquido, a redução da contração durante o resfriamento e da porosidade nas peças fundidas e do coeficiente de expansão térmica. Também observa-se elevada razão de resistência mecânica, ótimas características para moldagem, boas propriedades mecânicas como resistência ao desgaste, alta condutividade elétrica e resistência à corrosão. Portanto, as aplicações das ligas de alumínio-silício são diversas, sendo frequentemente utilizadas em indústrias automobilísticas (SANTOS et al., 2007; JUNIOR e DINIZ, 2014).

O alumínio pode ser classificado em primário, secundário e terciário dependendo de sua fonte. O primeiro é quando o metal é oriundo da bauxita, já o segundo é proveniente do processo de reciclagem. Cerca de 30% do alumínio produzido mundialmente é obtido a partir de fontes secundárias. Já o alumínio terciário é oriundo da reciclagem do resíduo produzido durante o processo de reciclagem do alumínio após o fim de sua vida (SCHLESINGER, 2013).

Figura 3 - Consumo doméstico de alumínio por setor em 2015.



Fonte: Abal (2017c)

A produção de alumínio utiliza muita energia no seu processo e gera escória como resíduo durante o processo de fusão e refino. A escória é altamente contaminante, sendo a sua redução e a sua disposição um dos principais desafios para a indústria do alumínio (ABDULKADIR et al., 2015).

A escória é composta por metais e substâncias não metálicas, como óxidos e sais de alumínio (Al_2O_3 , NaCl, KCl, CaO, $NaAlCl_4$, $KAlCl_4$, SiO_2 , MgO, entre outras substâncias) (DAVID e KOPAC, 2012). A escória apresenta 3 classificações dependendo da sua composição e morfologia (borra preta, branca e “*salt cake*”). A primeira é formada por baixo teor de metais (entre 5 a 20% de alumínio) e alto teor de sais e óxidos, sendo produzida através da reciclagem do alumínio secundário. Enquanto que a segunda apresenta alto teor de metais (em torno de 80%) e baixo teor de óxidos e sais e é formada pelo alumínio primário (MANFREDI et al., 1997; SHINZATO e HYPOLITO, 2005; DAVID e KOPAC, 2012; TSAKIRIDIS, 2012; ABDULKADIR et al., 2015).

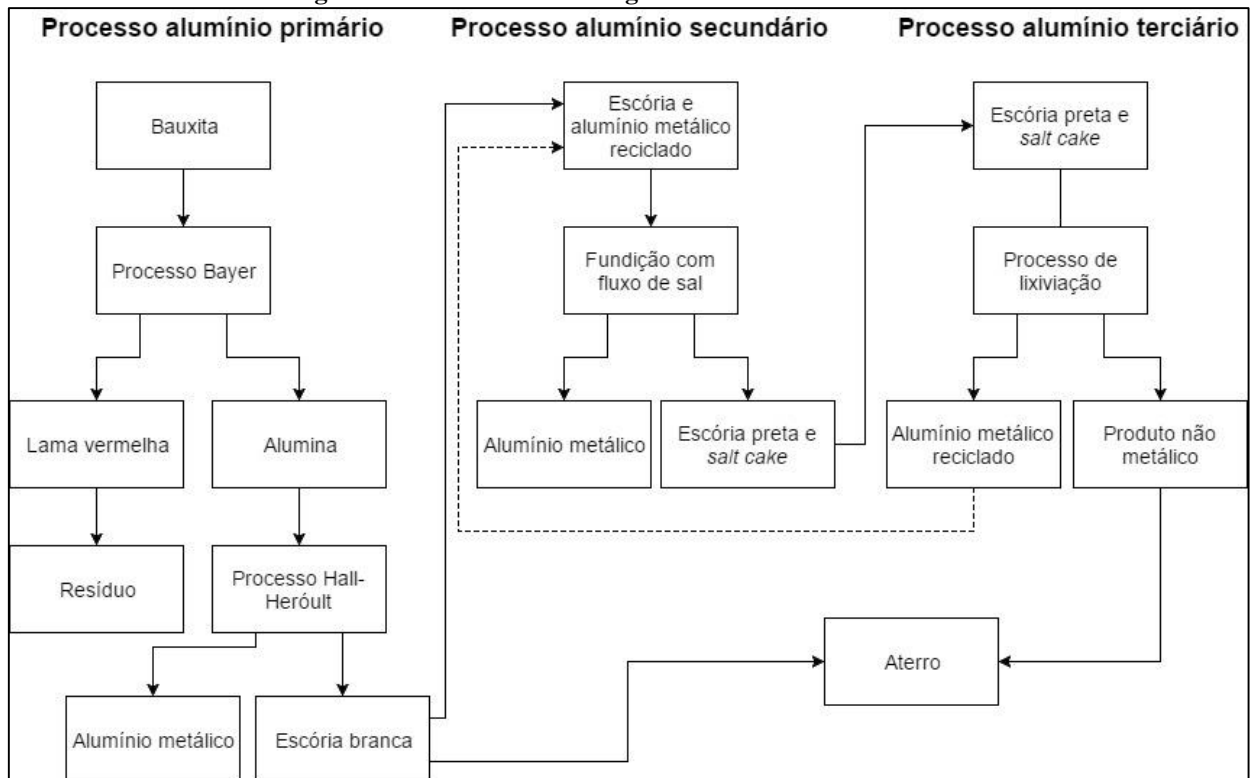
O *salt cake* é a composição não metálica a qual é gerada a partir da fundição da escória. Contém aproximadamente de 5 a 7% de alumínio, 15 a 30% de óxidos de alumínio, 30 a 55% cloreto de sódio e 15 a 30% de cloreto de potássio, podendo conter carbonetos, sulfetos, nitretos e fosfetos (TSAKIRIDIS, 2012).

Shinzato e Hypolito (2005) analisaram a composição química da borra preta através da fluorescência de raio X e a composição mineralógica através da difração de raio X. A

composição química da borra apresentou 80% de sais, sendo os restantes 20% alumínio e componentes de liga das sucatas. O produto não metálico é composto principalmente de Al, Si, Mg e Fe. Com a investigação mineralógica, Shinzato e Hypolito concluíram que a borra é composta de NaCl, $MgAl_2O_4$, Al_2O_3 e SiO_2 , enquanto que o produto não metálico consiste nos mesmos compostos adicionado de $Al(OH)_3$.

Muitas indústrias de reciclagem no Brasil realizam o esmagamento e a fundição da borra branca utilizando um fluxo de sais composto por NaCl e KCl. Borra preta e *salt cake* são produzidos novamente, porém, indústrias de alumínio terciário usam estes materiais como matéria prima. A Figura 4 apresenta um esquema do processamento da indústria de reciclagem de alumínio no Brasil. Os produtos não metálicos são dispostos em aterros visto que conforme a legislação brasileira, eles são classificados como não perigosos. A porcentagem de alumínio reciclado na terceira etapa deste processo é de apenas 20%, sendo que os outros 80% corresponde aos produtos não metálicos. Entretanto, este processo torna-se viável pois o preço do alumínio reciclado é relativamente alto (US\$ 133/ton) em comparação com o preço da escória preta (US\$ 7/ton) (SHINZATO e HYPOLITO, 2005).

Figura 4 - Processo de reciclagem do alumínio no Brasil.



Fonte: adaptado de Shinzato e Hypolito (2005).

2.2.1 Reciclagem do alumínio

Segundo Shinzato e Hypolito (2005), a reciclagem é um processo economicamente e ambientalmente correto pois visa o reaproveitamento de resíduos que estariam sendo dispostos em aterros ou em locais impróprios contaminando o meio ambiente. Com a reciclagem, diminui-se o volume destes resíduos, além de diminuir o montante de matéria-prima utilizada em determinados processos.

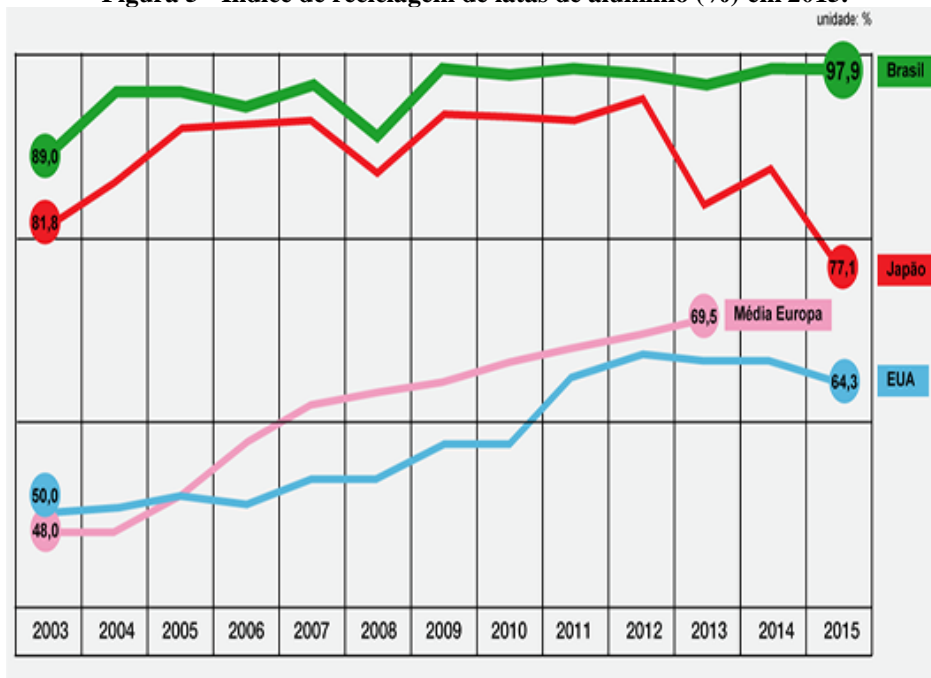
Ao citar o termo reciclagem, primeiramente lembra-se do alumínio pois é um material que pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder suas características. A cada 1 tonelada de alumínio reciclado, diminui-se a extração de 4 toneladas de bauxita, além de economizar até 95% de energia (ABAL, 2007).

Alguns dos benefícios da reciclagem do alumínio vão além da redução de energia e matéria prima utilizadas, envolvendo questões humanas, visto que a reciclagem é fonte de renda para muitas famílias, mantendo pessoas não qualificadas dentro do mercado de trabalho. Em função disto, gera recursos para aplicação nas economias locais, desenvolvendo melhor o mercado em âmbito local e nacional. Na questão ambiental, incentiva a reciclagem de outros materiais, criando uma conscientização ambiental na população local e reduzindo o volume de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários (ABAL, 2007).

Os fornos utilizados para o processo de reciclagem das sucatas de alumínio são rotativos, rotativos selado, *sidewall* sem sal, de indução e de plasma. O forno de indução é pouco utilizado porém muitas pesquisas estão sendo feitas visando o aperfeiçoamento desta técnica. O forno rotativo apresenta um rendimento em torno de 50 a 60%, entretanto, a utilização do forno rotativo selado com sal de cobertura oferece uma eficiência de 85%, além de gerar um baixo volume de borra preta (ABAL, 2018).

Conforme a ABAL, o Brasil é o líder mundial em volume de alumínio reciclado. No ano de 2015, 602 mil toneladas de alumínio foram recicladas. Em torno de 50% deste alumínio reciclado é oriundo de latas de alumínio para bebidas, correspondendo à quase totalidade de latas consumidas em 2015 no Brasil (ABAL, 2017d). Conforme descrito na Figura 5, em 2015, o Brasil foi o país que mais reciclou latas de alumínio, com uma porcentagem de 97,9. O Japão, com o índice de 77,1% ficou em segundo lugar, reciclando 20% a menos que o Brasil. Por 12 anos consecutivos, o Brasil lidera esta atividade econômica, mesmo não sendo uma exigência legal no país. Os desafios da reciclagem são desenvolver ligas de alumínio minimizando o uso de energia, reduzindo o volume de resíduos produzidos com o objetivo de gerar ligas de alta qualidade (SCHLESINGER, 2013).

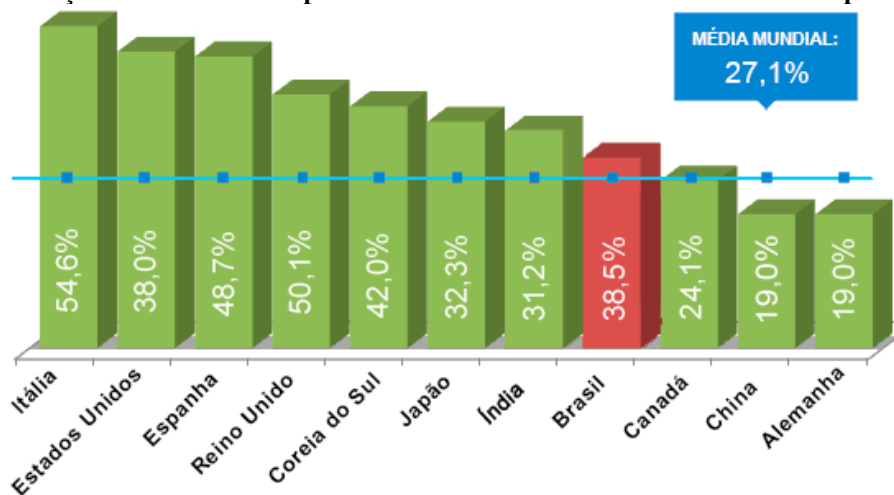
Figura 5 - Índice de reciclagem de latas de alumínio (%) em 2015.



Fonte: Abal (2017b).

Com as 602 mil toneladas de alumínio reciclados, correspondente a 38,5% do consumo doméstico registrado no período, o Brasil apresenta uma posição de destaque (ficando atrás somente da Itália, Reino Unido, Espanha e Coreia do Sul) em eficiência do ciclo de reciclagem, cuja média mundial em 2015 foi de 27,1%, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Relação entre sucata recuperada e consumo doméstico do Brasil e outros países em 2015.

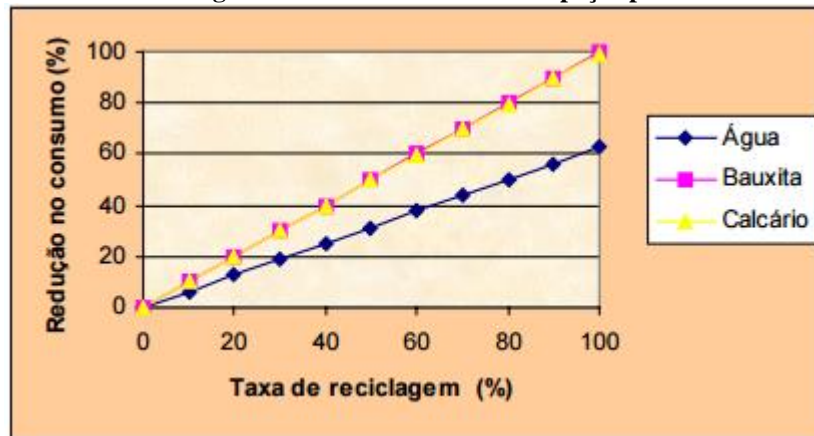


Fonte: Abal (2017b).

Através da ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV), com a qual foi avaliada a redução no consumo de recursos naturais no processo de produção de latas de alumínio com duas peças com capacidade de 350 ml em função da taxa de reciclagem do alumínio. Coltro

(2007) concluiu que com o aumento da taxa de reciclagem observa-se uma redução proporcional no consumo de bauxita e calcário. O mesmo não foi observado para a água, pois este é um recurso natural utilizado em todas as etapas da cadeia de produção e transporte, não sendo exclusivo da etapa de produção (Figura 7).

Figura 7 - Redução no consumo de recursos naturais em função da reciclagem do alumínio no ciclo de vida de 1000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas.



Fonte: Coltro (2007).

2.3 Compósitos de matriz metálica

2.3.1 Definições e classificações

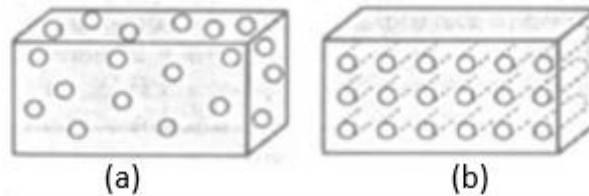
Materiais compósitos são formados por dois ou mais componentes não reativos e insolúveis que apresentam características químicas e físicas diferentes. Estas substâncias quando combinadas irão formar um material com propriedades distintas dos materiais iniciais. Um compósito é formado por um material que constituirá a matriz e uma substância que vai atuar como o reforço (KALA et al., 2014; YASHPAL et al., 2017).

Os compósitos passam por uma permanente evolução, pois o constante melhoramento de suas formas de fabricação gera produtos com melhores características e desempenhos em determinadas situações (VENTURA, 2009). Os compósitos são classificados de acordo com o material que forma sua matriz (fase contínua). Os reforços adicionados (fase dispersa) são envolvidos pelo material da matriz (VENTURA, 2009; KALA et al., 2014).

A matriz do compósito pode ser metálica, polimérica ou cerâmica, conferindo estrutura ao compósito. Já os reforços podem ser de diversas formas, apresentando uma classificação geral em 3 categorias: compósitos particulados, de fibras descontínuas (*whiskers*) e de fibras contínuas (Figura 8). Os reforços geralmente proporcionam maior rigidez e força ao compósito,

entretanto podem também melhorar características do compósito como sua condutividade e sua resistência ao calor e à corrosão (VENTURA, 2009; KALA et al., 2014).

Figura 8 - Classificação das partículas de reforço.



Legenda: reforço (a) particulado e (b) de fibras.
Fonte: adaptado de Ventura (2009).

Os compósitos de matriz metálica (CMM) são, resumidamente, ligas metálicas reforçadas com materiais cerâmicos (mais comumente). Os CMM começaram a ser investigados por volta da década de 60 com a aplicação de fibras de boro e de carboneto de silício em metais leves, como as ligas de alumínio por exemplo. Os metais mais utilizados como matriz são o alumínio, titânio, magnésio e cobre. Entretanto, outros metais como zinco e cobre também vem sendo utilizados (VENTURA, 2009; DAS et al., 2014; BODUNRIN et al., 2015; YASHPAL et al., 2017).

Os materiais de reforço utilizados podem ser divididos em três grupos: partículas cerâmicas sintéticas, resíduos industriais e resíduos agropecuários. Os materiais cerâmicos mais empregados são carboneto de silício, óxido de alumínio, grafite ou cinzas volantes. As propriedades finais do compósito irão variar conforme a matriz do metal e o tipo de reforço aplicados (VENTURA, 2009; DAS et al., 2014; BODUNRIN et al., 2015; YASHPAL et al., 2017).

Os materiais de reforço exercem muita influência na determinação do desempenho do compósito. Muitos estudos estão sendo realizados visando a utilização de resíduos agropecuários como agente de reforço complementar aos agentes sintéticos. A vantagem da utilização destes resíduos é o baixo custo e a facilidade de obtenção visto que são produzidos em grandes escalas. Além disso, a baixa densidade e a redução da poluição ambiental através da valorização destes resíduos também são aspectos positivos relacionados à utilização destes materiais (BODUNRIN et al., 2015).

Os compostos de reforço cerâmicos apresentam uma força superior a outros tipos de reforços. Por isso, são os mais utilizados para desenvolver CMM. Os resíduos agrícolas ou industriais, como por exemplo CCA, cinzas volantes e o grafite, estão tornando-se foco de pesquisas visando a sua utilização como componente de reforço, como também diminuindo o custo de produção dos CMM. Além disso, devido à baixa densidade destes resíduos, o peso dos

compósitos pode ser controlado, apresentando propriedades superiores ou iguais aos dos CMM que utilizaram reforço sintético (SINGH e CHAUHAN, 2016).

A utilização dos CMM ainda é bastante restrita. Um exemplo bastante difundido da utilização destes compósitos em escala comercial é o caso da empresa Toyota, que aplicou um compósito de alumínio e fibras curtas de óxido de alumínio e de silício para substituir uma roldana de ferro fundido. Podemos citar outro exemplo de uma empresa de automóveis, a Honda, que realizou a substituição do revestimento dos cilindros do motor por um compósito de alumínio contendo 12% de fibras de alumina e 9% de fibras de grafite (VENTURA, 2009).

2.3.2 Interface reforço-matriz

A molhabilidade (*wetting*) entre a matriz e o reforço pode ser melhorada através da utilização de agentes molhantes, como K_2TiF_6 , borato de sódio (bórax) e magnésio, sendo este último o mais utilizado (BODUNRIN et al., 2015; SINGH e CHAUHAN, 2016). Os agentes molhantes irão diminuir a tensão superficial entre a matriz e o reforço, criando uma forte ligação entre eles. Com a adição de magnésio, melhora-se também a fluidez do metal fundido até determinadas quantidades (HASHIM et al., 2001; DAS et al., 2014). A agitação mecânica pode ser utilizada também para obter uma distribuição mais uniforme das partículas de reforço na matriz (DAS et al., 2014). Estas propriedades foram analisadas mais profundamente por Hashim et al. (2001).

Hashim et al. (2001) estudaram o aprimoramento da molhabilidade de partículas de carboneto de silício (SiC) em compósitos de matriz metálica de alumínio. Os pesquisadores analisaram cinco situações: 1 - tratamento térmico das partículas de SiC sem agitação; 2 - agitação do metal totalmente líquido; 3 - agitação do metal no estado semissólido; 4 - teor de adição de magnésio e 5 - temperatura e condições de agitação e volume de partículas de SiC. Os pesquisadores observaram que a agitação é uma etapa essencial para a incorporação das partículas, pois os testes em que não houve agitação, os reforços ficaram flutuando no alumínio, independente da adição de magnésio ou pré-aquecimento do SiC.

Outro resultado constatado foi a baixa molhabilidade na situação 2, mesmo com a adição de magnésio. As partículas ficaram depositadas no fundo do cadinho. Já no teste 3, resultados positivos foram observados, visto que não houve a deposição de SiC no fundo do cadinho, fato este que comprova a incorporação das mesmas ao alumínio (HASHIM et al., 2001).

Os volumes de magnésio adicionados para o teste 4 foram 1, 2 e 3% em massa. Para o alumínio no estado líquido, não foi observado uma interação boa (como já comentado acima).

Entretanto, para o estado semissólido, a adição de 1% melhorou a molhabilidade do compósito. Porém, um aumento no teor de magnésio acima de 1% demonstrou uma tendência das partículas se aglomerarem (HASHIM et al., 2001). Segundo Sukumaran et al. (1995) *apud* Hashim et al. (2001), a adição de magnésio acima de 1% em massa aumenta a viscosidade do alumínio, dificultando assim a distribuição homogênea das partículas de SiC na matriz do compósito. Behera et al. (2012) *apud* Das et al. (2014) adicionou 3% em massa de magnésio, enquanto que Ozben et al. (2008) e Kumar e Dhiman (2013) *apud* Das et al. (2014) adicionaram 2 e 1% em massa respectivamente. Diversos estudos realizados utilizando ligas de alumínio como matriz adicionaram entre 0,1 a 2% em massa de magnésio (ALANEME et al., 2013; SARAVANAN e KUMAR, 2013; PRASAD et al., 2014; NARASARAJU e RAJU, 2015).

Os resultados para o teste 5 demonstraram que a agitação constante enquanto que o alumínio passa do estado líquido para o semissólido favorece a molhabilidade entre o reforço e a matriz. Além disso, os pesquisadores analisaram o tempo de resfriamento, observando que um resfriamento rápido aumenta a molhabilidade, e o volume de partículas adicionadas, concluindo que com o aumento do volume de partículas adicionadas, nota-se uma diminuição da molhabilidade do sistema (HASHIM et al., 2001).

Das et al. (2014) compararam resultados de diversos autores e concluíram que o tamanho das partículas de reforço influencia na distribuição das mesmas na matriz metálica e que com a diminuição do tamanho das partículas, mais uniformemente ocorre a distribuição. A ordenação do reforço na matriz é um dos maiores desafios encontrados durante o processo de fabricação dos compósitos, interferindo diretamente nas propriedades e na qualidade do material produzido.

Na revisão bibliográfica realizada por Das et al. (2014), ficou evidente a necessidade de pré-aquecer as partículas de reforço. O motivo difere entre alguns autores, enquanto que uma parte diz que é para obter uma superfície oxidada, outros afirmam que este processo serve para remover a umidade das partículas, melhorando assim a molhabilidade do sistema.

2.3.3 Processos de fabricação

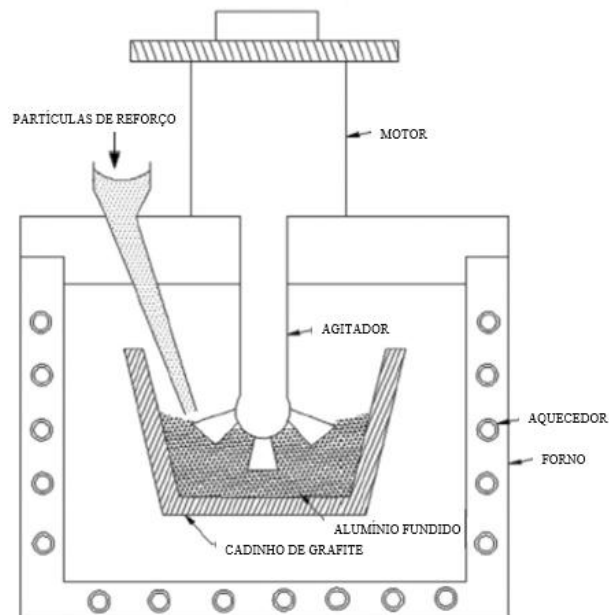
O método de fabricação dos CMM vai depender da natureza da matriz e dos compostos de reforço (BODUNRIN et al., 2015). Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para a fabricação dos CMM. Por exemplo, CMM de alumínio reforçado com partículas são os que contém material particulado na sua estrutura. Estes compósitos apresentam partículas cerâmicas como reforço, sendo fabricados através de dois processos: rota sólida (técnicas de metalurgia de pó)

e rota líquida (técnicas de moldagem de compressão e fundição em agitação) (PRABU et al., 2006; BODUNRIN et al., 2015; YASHPAL et al., 2017).

Os métodos utilizados são fundição por agitação, infiltração de metal líquido, fundição por compressão, decomposição por pulverização e metalurgia de pó (PRABU et al., 2006). Após intensa pesquisa, Das et al. (2014) concluíram que os métodos mais difundidos são as técnicas de metalurgia do pó ou de fundição por agitação do metal fundido. Dentre estes, a fundição por agitação é uma técnica utilizada para a fabricação de grandes quantidades em vista da sua simplicidade, flexibilidade e economia para a produção de componentes de grande porte (PRABU et al., 2006; SINGH e CHAUHAN, 2016).

De modo simplificado, a fundição por agitação envolve a mistura de reforços particulados na matriz metálica fundida, sendo as partículas distribuídas e suspensas na matriz de metal fundido através de uma mistura de alta energia (MIRACLE, 2005; ANNIGERI e KUMAR, 2017). Como ponto positivo o baixo custo, a agitação por fundição é a mais utilizada, entretanto, ainda encontram-se desafios no método de produção, pois esta técnica apresenta uma dificuldade em atingir uma distribuição uniforme das partículas na matriz (PRABU et al., 2006; BODUNRIN et al., 2015). Na Figura 9 está representando o layout do processo de fundição por agitação, sendo caracterizado pelo agitador para obter-se um vórtex para a adição das partículas de reforço.

Figura 9 - Layout da configuração do processo de fundição por agitação.



Fonte: adaptado de Das et al. (2014).

Além disso, é necessário considerar a molhabilidade entre as partículas e a matriz metálica visto que as partículas podem não ser incorporadas e pode ocorrer também o

surgimento de fases secundárias prejudiciais ao compósito. Outro impedimento interessante a ser analisado é a porosidade obtida através da aplicação desta técnica. Por fim, as reações químicas que irão ocorrer entre a matriz e o reforço podem ser um impedimento para a utilização desta técnica (PRABU et al., 2006; BODUNRIN et al., 2015).

O pré-aquecimento do reforço é importante para evitar a distorção térmica do compósito. As técnicas de agitação são utilizadas para introduzir e dispersar homoganeamente as partículas cerâmicas, pois a maioria destas partículas são mais densas que a matriz metálica, podendo ocorrer então a decantação delas. As técnicas que podem ser utilizadas neste processo de adição do reforço são muitas. A adição das partículas quando a matriz está parcialmente ou totalmente fundida e sob agitação vigorosa; a utilização de uma arma de injeção para adicionar as partículas e também a dispersão de *pellets* ou briquetes da fase descontínua são exemplos de técnicas de adição do reforço particulado (ROHATGI, 1991; ANNIGERI e KUMAR, 2017).

2.3.4 Propriedade dos compósitos de matriz metálica

As principais características que os CMM apresentam englobam alta condutividade elétrica e térmica, boa resistência aos ambientes agressivos, bom impacto e resistência à corrosão, além de boas propriedades de fadiga e fratura. Outras qualidades podem ser desenvolvidas através de determinados constituintes de reforço (MIRACLE, 2005).

Nos últimos anos, os CMM estão sendo mais estudados devido às suas diversas aplicações no setor da engenharia, principalmente devido a sua alta relação de força-peso e resistência à corrosão. Assim, eles podem ser utilizados principalmente no setor de tecnologia de motores de aeronaves e automóveis (DAS et al., 2014; KALA et al., 2014).

Os CMM de alumínio apresentam propriedades muito interessantes, como baixa densidade, alta rigidez e força, alta resistência de desgaste, boa capacidade de amortecimento, coeficiente de expansão térmica controlado, elevados índices de resistência à corrosão, alta resistência à fadiga e melhor estabilidade em altas temperaturas. Por razão disto, estes compósitos de alumínio são utilizados no projeto de vários componentes de diferentes aplicações (KALA et al., 2014; YASHPAL et al., 2017).

A utilização de compósitos de alumínio em aplicações em motores reduz o peso total, o consumo de gasolina e a poluição em automóveis e aeronaves. Os CMM de alumínio podem ser aplicados em diversas áreas, como no setor aeroespacial e no setor de transporte terrestre e aquático visto que apresentam propriedades como leveza, maior relação resistência-peso, resistência à corrosão e ao desgaste e alta condutividade térmica (YASHPAL et al., 2017).

A liga de alumínio é muito utilizada no setor automobilístico devido seu baixo peso e a possibilidade de aumentar a resistência dos materiais. Em um sentido mais amplo, diversos materiais com microestruturas de duas fases nas quais o volume e a forma das fases são regidos por um diagrama de fases tem sido muito utilizados na indústria automobilística (ROHATGI, 1991; VENTURA, 2009). Os maiores volumes comercializados de CMM são os constituídos de alumínio reforçado descontinuamente, representando 69% da produção anual de CMM, seguido por compósitos de cobre (25%). Já os reforços mais utilizados são o carboneto de silício, a alumina e o carboneto de titânio (MIRACLE, 2005).

3 METODOLOGIA

3.1 Análise da gestão dos resíduos nas indústrias arroseiras

A gestão dos resíduos nas indústrias arroseiras da região do vale do Rio Pardo foi avaliada através de um questionário, analisando-se o processo de beneficiamento, o volume de produção e quais os resíduos gerados e sua destinação. Entrou-se em contato com as 5 empresas beneficiadoras de arroz do vale do Rio Pardo, entretanto, obteve-se retorno apenas de 2 empresas.

Este tema foi proposto para obter informações locais sobre uma problemática global, visto que a destinação incorreta dos resíduos gera um impacto ambiental local. No Quadro 1 estão descritos os questionamentos realizados às duas empresas beneficiadoras de arroz da região.

Quadro 1 - Perguntas feitas às indústrias beneficiadoras de arroz.

Perguntas	
1	Qual a quantidade de arroz beneficiado por ano (2015 ou 2016)? O beneficiamento é feito ao longo do ano? Em caso negativo, em que período?
2	Qual a procedência do arroz?
3	Como o arroz é selecionado em seu Engenho?
4	Quais são os parâmetros que são avaliados para a compra do arroz?
5	Qual é a região do RS que apresenta o melhor tipo de arroz em termos de qualidade (menos quebras)?
6	Qual a quantidade de casca obtida por ano?
7	Qual o destino da casca (queimada, vendida, doada, outro)?
8	No caso de ser queimada: Qual a quantidade de casca queimada? Qual o período de queima (meses ou todo ano)? Qual a temperatura e qual o tempo de queima? Qual o sistema de queima (grelha fixa, grelha deslizante, leito fluidizado, outro)? Qual a quantidade de cinza obtida? Qual o sistema de escoamento da cinza (seco ou úmido)? Qual o destino da cinza?
9	No caso da casca ser vendida ou doada: Qual a quantidade? Para quem? E para que uso se destina?

Fonte: adaptado de Pouey (2006).

3.2 Casca de arroz

A casca de arroz utilizada neste trabalho é oriunda da empresa Tritec Equipamentos LTDA - Unidade de Cereais, localizada em Cachoeira do Sul no Rio Grande do Sul.

3.2.1 Processo de lavagem

Este processo foi realizado apenas nas amostras 1 e 4 (Tabela 3). As cascas de arroz foram lavadas 3 vezes sendo a primeira com água potável e as duas últimas com água deionizada. Após este processo, foram secas em estufa à 100 °C durante 12 horas. Este processo visa a retirada de impurezas (fezes de animais e poeira) que podem prejudicar a qualidade da sílica obtida.

Tabela 3 - Procedimentos realizados em cada amostra.

Amostra	Procedimento
1	Processo de lavagem e queima em atmosfera inerte (N ₂)
2	Processo de queima em atmosfera inerte (N ₂)
3	Processo de queima em atmosfera sem controle
4	Processo de lavagem queima em atmosfera sem controle

Fonte: autor.

3.2.2 Processo de combustão

Para realizar o processo de queima, necessária para a obtenção das cinzas, as cascas de arroz foram queimadas usando um forno marca Jung modelo 9613, que se encontra no Laboratório de Valoração e Coprocessamento de Resíduos I da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). O processo de queima foi conduzido em forno do tipo mufla com atmosfera inerte (amostra 1 e 2) e atmosfera não controlada (amostra 3 e 4), conforme Tabela 3. Com base nas pesquisas bibliográficas (FERNANDES et al., 2014), a temperatura de queima utilizada foi de 700 °C, com taxa de aquecimento de 8 °C/min e um patamar de queima de 2 horas após atingida a temperatura estipulada. Realizou-se o resfriamento dentro do próprio forno, caracterizando um resfriamento lento.

3.2.3 Análise da composição química e mineralógica da cinza

A caracterização mineralógica da cinza obtida na queima foi realizada através da técnica de difração de raios X em um difratômetro de pó XRD (Philips, X'Pert, Holanda) usando radiação de Cu-K α filtrada com Ni (1,5418 Å) a 40 kV e 30 mA no intervalo de ângulo de 5-80° 2 θ , passo = 0,02°, tempo do passo = 2 segundos. As fases cristalinas foram identificadas a partir da posição do pico e da intensidade relativa usando dados de referência dos cartões ICSD.

A caracterização química foi realizada utilizando a técnica de espectroscopia de fluorescência de raio X (XRF 1800, Shimadzu). Estas análises foram realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER).

3.2.4 Classificação da cinza a utilizar

A CCA selecionada como base para o experimento foi peneirada utilizando uma peneira de malha de 60 Mesh (abertura 0,250 mm). As partículas passantes por esta malha foram empregadas para a fabricação do compósito.

3.3 Alumínio reciclado

3.3.1 Processo de fundição

O alumínio utilizado neste experimento é derivado de resíduos industriais e de latas de alumínio coletadas na UNISC. As latas de alumínio usadas provêm de recipientes de bebidas comerciais, nas quais não foi realizado nenhum processo de lavagem e utilizou-se o lacre. O resíduo industrial provém de uma indústria metalúrgica (nome em sigilo). Esses materiais foram fundidos separadamente em forno do tipo industrial da marca Grion utilizando um cadinho de aço, conforme ilustrado na Figura 10. A temperatura de fundição foi em torno de 800 °C. O tempo de fundição variou conforme o volume de resíduos e latas utilizados. Os resíduos industriais e as latas de alumínio foram dispostos primeiramente em forno tipo mufla para a retirada da umidade dos materiais, com a temperatura da mufla variando entre 150 e 200 °C. Após a fundição de cada material separado, realizou-se uma nova fundição nas mesmas condições para obter um material composto de alumínio oriundo 50% das latas de bebidas e 50% do resíduo industrial. Este lingote 50/50 foi utilizado nos testes de incorporação e denominado amostra matriz.

Figura 10 - (a) forno industrial utilizado para o processo de fundição e (b) cadinho de aço.



(a)

Fonte: autor.

(b)

3.3.2 Análise da composição

A composição dos lingotes produzidos utilizando latas de alumínio e alumínio proveniente da indústria foram caracterizados utilizando o espectrômetro óptico (aparelho Solaris CCD Plus - S5) no laboratório da Engenharia de Produção da UNISC. Foram realizadas três medições em cada amostra.

3.4 Compósito de cinza da casca de arroz e alumínio reciclado

3.4.1 Produção do compósito

O diagrama da Figura 11 descreve o processo simplificado da produção do compósito. Inicialmente, a CCA foi pré-aquecida à 500 °C durante 2 horas para retirada de umidade e para melhorar a incorporação quando adicionada ao alumínio. Enquanto isso, 50% de cada fonte de alumínio (resíduo industrial e latas de bebidas) foram aquecidos até o ponto de fusão (em torno de 700 °C). Esta amostra foi caracterizada como “amostra matriz”. Adicionou-se cerca de 2% em massa de magnésio metálico em barra com 99% de pureza para melhorar a molhabilidade do sistema. O magnésio utilizado foi obtido através de doação da empresa Rima de Minas Gerais.

Em seguida, o sistema de agitação mecânica (Figura 12) foi instalado e começou-se a agitar o sistema contendo alumínio e magnésio. Logo após, adicionou-se a CCA (1 e 4% em massa) e continuou-se a agitar a mistura com uma velocidade em torno de 300 a 400 rpm por aproximadamente 3 minutos. Por fim, verteu-se a mistura obtida em um molde metálico e deixou-se resfriar à temperatura ambiente. Este procedimento ocorreu para a produção de compósitos com 1 e 4% em massa de CCA. A amostra com 1% de CCA foi denominada amostra 1, enquanto que a amostra com 4% de CCA foi intitulada de amostra 2. As quantidades de cada material utilizados para a produção das amostras 1 e 2 estão descritos na

Tabela 4.

Deste lingote produzido, foram cortadas duas amostras para análises de caracterização (microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura) para confirmar a incorporação da CCA. Além disso, outras amostras foram retiradas para a realização de testes de densidade, de dureza e de força de impacto.

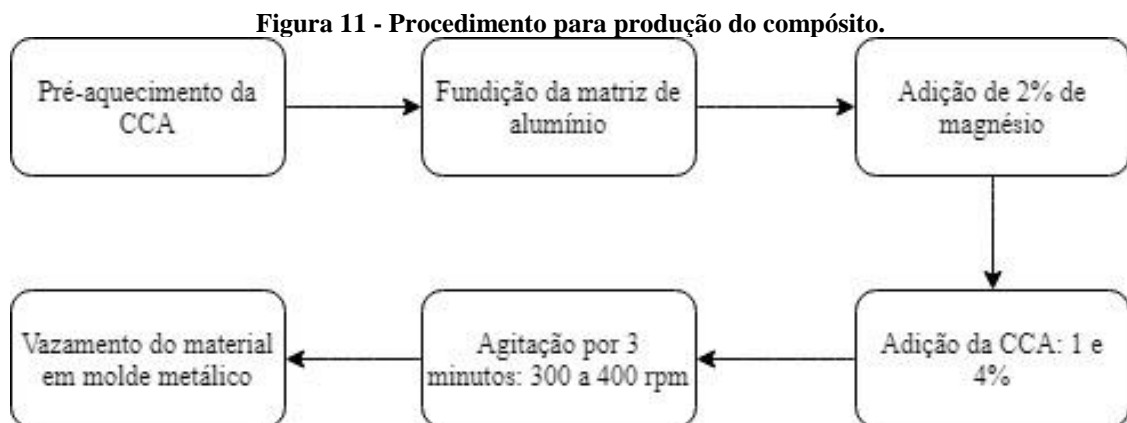


Tabela 4 - Produtos utilizados para a produção dos compósitos.

Amostra (% CCA)	CCA (g)	Mg (g)	Al (g)
1 (1%)	40,65	85,17	4050
2 (4%)	156,90	81,14	3920
Matriz 1 (0%)	-	-	4050
Matriz 2 (0%)	-	-	3920

Fonte: autor.

Figura 12 - Sistema mecânico de agitação acoplado ao forno de fundição.



Fonte: autor.

3.4.2 Microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura

As amostras matriz 1, matriz 2, 1 e 2 foram analisadas através de microscópio eletrônico óptico de modelo Axio Lab A1 da Zeiss. A preparação metalográfica das amostras consistiu em um processo de lixamento e de polimento. O primeiro empregou lixas obedecendo a seguinte ordem de granulometria: 120-220-320-600-1200-1500-2000 mesh. O segundo processo utilizou um pano de polimento com pasta abrasiva de alumina. A aproximação utilizada no microscópio foi de 100 e 200 vezes. O processo de preparação e análise foram realizados no laboratório da Engenharia de Produção da UNISC.

Para a caracterização microestrutural foram realizadas análises em microscópio eletrônico de varredura (MEV) acoplado com espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS). As amostras 1 e 2 passaram pelo mesmo processo de preparação descrito anteriormente. O processo de preparação foi realizado no laboratório da Engenharia de Produção da UNISC e a análise foi realizada no LACER da UFRGS.

3.4.3 Teste de densidade

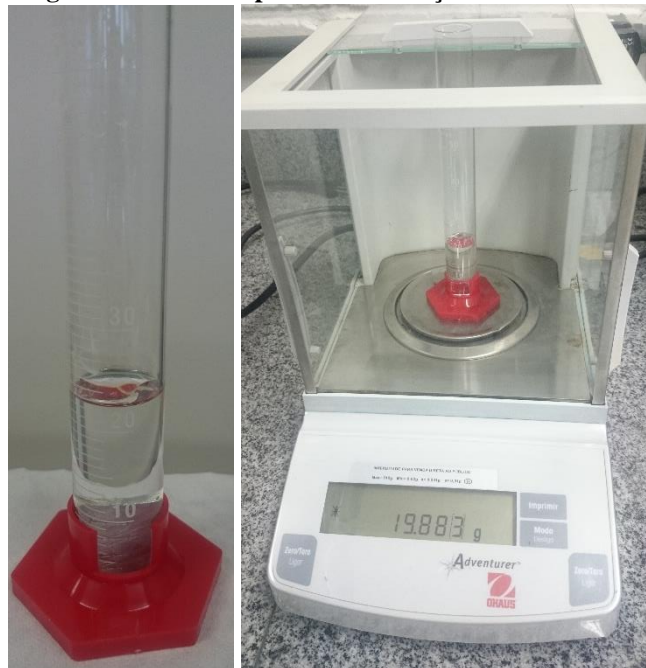
A densidade de um material é calculada através da Equação (1, onde m corresponde a massa do material e v ao volume do material.

$$\rho = m/v \quad (1)$$

A medição da densidade dos lingotes produzidos foi realizada através do princípio de Arquimedes. Este princípio é importante pois através dele pode-se determinar a densidade de um objeto de forma irregular através da medição da sua massa no ar e sua massa efetiva quando submergida em um líquido de densidade conhecida (normalmente água). O recipiente utilizado para a medição foi uma proveta previamente calibrada. O sistema utilizado está representado na Figura 13.

O teste foi realizado em triplicata visando a diminuição de erros durante a análise. As amostras submetidas a este teste foram a amostra matriz e as amostras com 1 e 4% de CCA incorporada.

Figura 13 – Sistema para determinação da densidade.



Fonte: autor.

3.4.4 Ensaio de dureza Brinell

Para os ensaios de dureza foram utilizadas as amostras de compósito produzidas (amostra 1 e 2) e a matriz para fins de comparação. O ensaio foi executado seguindo as diretrizes da NBR 6506 (NBR, 2010). O ensaio de dureza Brinell foi realizado com carga de 62,5 kgf e um penetrador com 2,5 mm de diâmetro. O aparelho utilizado foi o Durômetro Pantec RB da Panambra. As medidas foram realizadas no laboratório da Engenharia de Produção da UNISC.

3.4.5 Ensaio de força de impacto Charpy

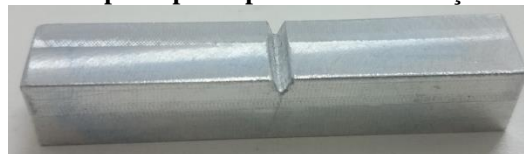
Os ensaios de impacto foram executados em um equipamento instrumentado Charpy (Figura 14), com capacidade para 30 mkg e velocidade de impacto de 5,6 m/s. Corpos de prova de dimensão 10x10x55 mm com um entalhe em “V” foram usinados de acordo com a norma NBR ISO 148-1 (NBR, 2009) (Figura 15). Foram confeccionados três corpos de prova de cada amostra. O teste de força de impacto é utilizado para medir a tendência de um metal de se comportar de maneira frágil. As medidas foram realizadas no laboratório da Engenharia de Produção da UNISC.

Figura 14 - Equipamento utilizado para o ensaio Charpy



Fonte: autor.

Figura 15 - Corpo de prova para o teste de força de impacto.



Fonte: autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da gestão dos resíduos nas indústrias arrozeiras

Na safra de 2015/16, as cidades constituintes do vale do Rio Pardo, são elas: Candelária, Encruzilhada do Sul, General Câmara, Pântano Grande, Passo Sobrado, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Vale do Sol, Vale Verde, Venâncio Aires e Vera Cruz, nas quais ocorre a plantação de arroz. Estas cidades juntas produziram o total de 187.855 toneladas de arroz (IRGA, 2017). Desta quantidade, 8.550 toneladas foram beneficiadas pelas duas empresas que se dispuseram a responder o questionário, representando 4,5% do arroz produzido na região.

As empresas realizam uma seleção do arroz através da utilização de tries e selecionadores de grãos, como também são avaliados em laboratório. Eles analisam a qualidade do arroz classificando ele em tipo 1 ou 2 e pela quantidade de grãos inteiros e quebrados. Através do processo de beneficiamento, as empresas geram em torno de 600 a 1400 toneladas de casca de arroz por ano, dependendo da quantidade de arroz beneficiado em casa empresa. Estes valores correspondem a cerca de 23% do valor de arroz beneficiado, confirmando assim os dados relatados no referencial teórico. A casca de arroz é destinada a aviários, olarias (geração de calor em caldeiras), utilizada em canteiros de morangos e também em cama de gado.

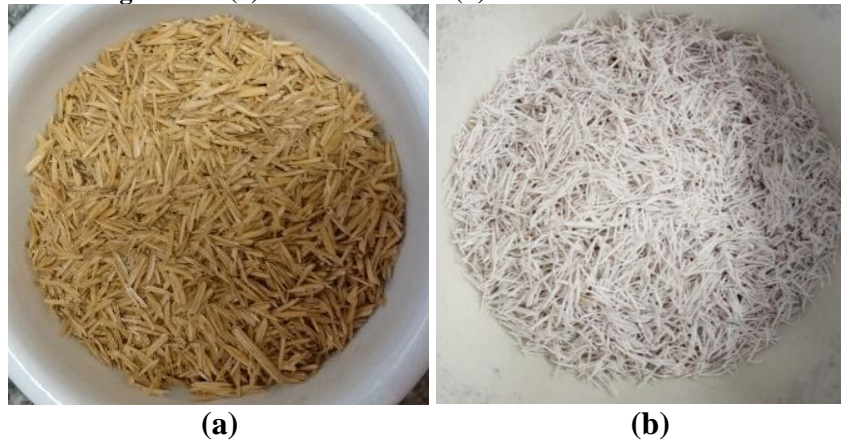
Com esta pesquisa, pode-se observar que a casca de arroz apresenta diversas utilizações. A sua queima ocorre apenas nas olarias, nas quais é utilizada como fonte de biomassa para geração de calor para as caldeiras, gerando assim, a CCA, resíduo empregado neste trabalho.

4.2 Casca de arroz

4.2.1 Processo de carbonização

A Figura 16 ilustra a casca de arroz pré e pós carbonização. Pode-se observar que a coloração da cinza é predominantemente branca caracterizando uma combustão completa com baixo teor de carbono residual (DELLA et al., 2001; MENEZES et al., 2008).

Figura 16 - (a) casca de arroz e (b) cinza da casca de arroz.

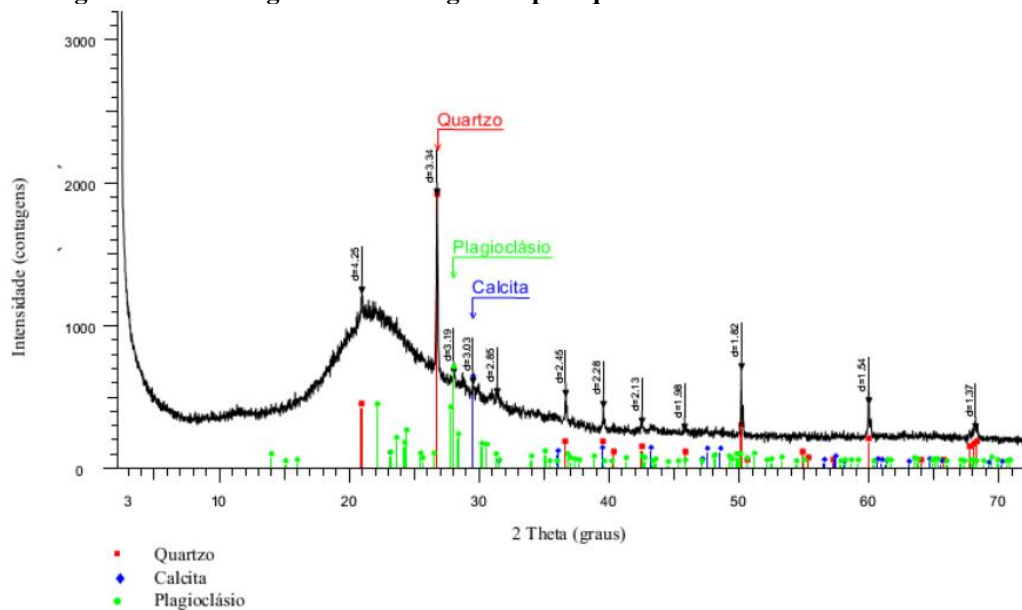


Fonte: autor.

4.2.2 Caracterização química e mineralógica

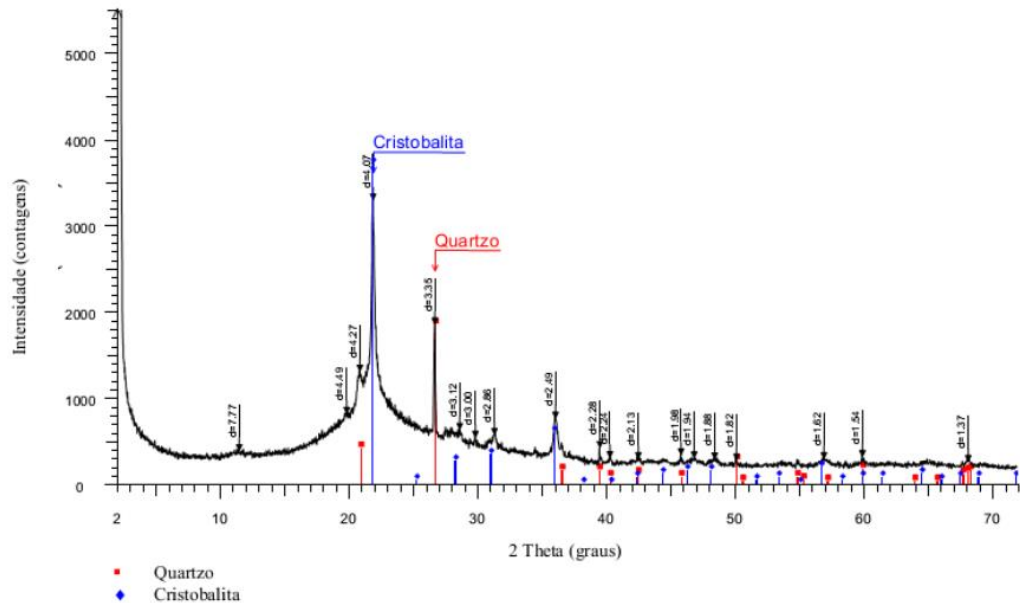
O difratograma das amostras analisadas está representado na Figura 19. Cordeiro et al. (2014) analisou o difratograma de amostras queimadas em diferentes temperaturas, em especial nas temperaturas de 650 e 800 °C (Figura 17 e Figura 18). Comparando-se os resultados obtidos por Cordeiro nas temperaturas de interesse com os resultados apresentados na Figura 19, afirma-se que as amostras queimadas à 700 °C são amorfas, pois não apresentaram o pico referente à cristobalita obtido na amostra queimada à 800 °C. Além disso, o difratograma da amostra de Cordeiro et al. (2014) queimada à 650 °C é aproximado ao das amostras queimadas à 700 °C.

Figura 17 - Difratograma da CCA gerada pela queima da casca de arroz a 650 °C.



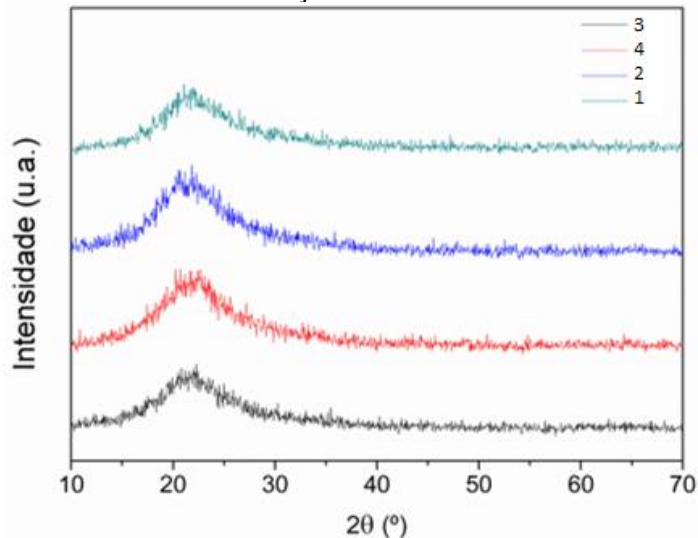
Fonte: Cordeiro et al. (2014).

Figura 18 - Difratograma da CCA gerada pela queima da casca de arroz a 800 °C.



Fonte: Cordeiro et al. (2014).

Figura 19 - Resultados da difração de raio X da cinza de casca de arroz.



Legenda: (1) casca enxaguada com água e cinza carbonizada em N₂, (2) cinza carbonizada em N₂, (3) cinza carbonizada em ar e (4) casca enxaguada com água e cinza carbonizada em ar.

Na Figura 19 observa-se um pico largo centrado no ângulo de 2θ de 22° , característico da sílica na forma amorfa, conforme vários estudos (LIU, 2004; DESHMUKH et al., 2011; LIU et al., 2011; MA et al., 2012; CORDEIRO et al., 2014). Também concluiu-se que o processo de combustão em forno do tipo mufla e em forno com atmosfera inerte e a pré-lavagem da amostra não interferem na composição morfológica do CCA, pois os difratogramas destas amostras apresentaram os mesmos picos. Isto pode ser confirmado pelo estudo de Liou (2004), no qual o pesquisador analisou através de difratograma de raio X a CCA queimada em atmosfera de

nitrogênio e atmosfera de ar. Liou (2004) também não observou nenhuma diferença nas estruturas da cinza.

Chaudhary et al. (2004) identificaram que a temperatura apresenta um efeito significativo na estrutura cristalina e no teor de carbono presente na CCA. Além disso, os mesmos pesquisadores relataram que o carbono fica capturado na estrutura de cristal quando a rampa de aquecimento é alta, enquanto que o contrário leva à um menor teor de carbono na cinza.

Através da fluorescência de raio X a composição química das amostras de CCA foi analisada. Os resultados encontrados para as quatro diferentes amostras estão descritos na Tabela 5. O maior percentual de sílica foi encontrado na amostra que foi lavada e queimada em atmosfera não controlada. Entretanto, as composições encontradas para as quatro amostras são muito parecidas, o que demonstra a não necessidade de realizar a combustão em atmosfera inerte, o que requer uma menor quantidade de produtos a serem utilizados (gás nitrogênio).

As porcentagens de sílica obtidas neste experimento foram maiores do que no estudo conduzido por Cordeiro et al. (2014), o qual para queima em temperatura de 800 °C obteve 90% (Tabela 2). Assim, fixou-se a utilização para os procedimentos de incorporação a CCA queimada à 700 °C durante 2 horas com rampa de aquecimento de 8 °C/min.

Tabela 5 - Composição da cinza da casca de arroz queimada em diferentes condições.

Amostra	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	NiO (%)
1	91,82	3,18	0,00	1,35	1,42	0,95	0,63	0,40	0,00	0,14	0,11
2	91,78	3,09	0,00	1,57	1,15	0,98	0,71	0,34	0,18	0,10	0,10
3	91,02	2,68	1,62	1,39	1,00	0,95	0,66	0,35	0,13	0,11	0,10
4	93,63	2,37	0,00	1,01	1,09	0,85	0,51	0,32	0,00	0,13	0,09

Legenda: (1) casca enxaguada com água e cinza carbonizada em N₂, (2) cinza carbonizada em N₂, (3) cinza carbonizada em ar e (4) casca enxaguada com água e cinza carbonizada em ar.

4.3 Alumínio reciclado

4.3.1 Processo de fundição dos resíduos de alumínio da indústria metalúrgica

Os resíduos de alumínio de uma indústria metalúrgica foram fundidos com temperatura de 782 °C (medida da temperatura do alumínio líquido dentro do forno utilizando um termômetro para fornos de fundição). A Figura 20 ilustra os resíduos de alumínio e os lingotes produzidos através do processo de fundição. No total, foram utilizados 35 kg de resíduos de alumínio para a produção de 31,6 kg de alumínio em forma de lingotes. Os 3,4 kg restantes são

referentes a escória produzida durante o processo. Sendo assim, o rendimento aproximado deste processo de fundição foi em torno de 90%.

Figura 20 - (a) alumínio oriundo da indústria e (b) lingote produzido.



Fonte: autor.

4.3.2 Processo de fundição dos resíduos de alumínio oriundo das latas de bebidas

Separou-se 64,56 kg de latas durante 4 meses do processo de coleta seletiva da UNISC. As latas foram amassadas manualmente para facilitar o processo de fundição e diminuir o volume para estocagem. Através do processo de fundição, produziu-se 10 lingotes totalizando 33,58 kg de alumínio. Ao mesmo tempo, 30,97 kg de escória foram produzidos. Assim, o rendimento deste processo foi de 52%. Como já descrito anteriormente, o processo de fundição das latas de alumínio gera uma alta porcentagem de escória devido à constituição das latas (tintas, verniz e outros metais). A Figura 21 expõe o volume de latas amassadas (aproximadamente 4782 latas) e o lingote obtido através do processo de fundição. O processo de fundição não utilizou nenhum fluxo para otimizar o procedimento de separação da escória do metal líquido, visto que o objetivo era o de diminuir a utilização de outros materiais ao mínimo para gerar o menor impacto ambiental.

Verran et al. (2007) estudaram o rendimento da fundição das latas de alumínio utilizando um forno de indução com a utilização de fluxos escorificante e com sua ausência com a fundição ocorrendo em temperaturas de 750 e 850 °C. Nos processos em que o fluxo não foi utilizado, os pesquisadores obtiveram um rendimento entre 70 a 75%. Comparando-se esses valores com os encontrados (52%), observa-se que o baixo rendimento obtido pode ser associado à utilização de um outro tipo de forno, neste caso o de combustão.

Figura 21 - (a) volume de latas amassadas e (b) lingote produzido através da fundição.



Fonte: autor.

4.3.3 Caracterização do alumínio utilizado

Através da técnica de espectroscopia de emissão óptica foram analisadas 3 amostras de cada fonte de alumínio com 3 medições em cada amostra. A média dos resultados foi realizada. Na Tabela 6 estão descritos os elementos e suas porcentagens das latas de bebidas, do alumínio oriundo da indústria metalúrgica e do lingote produzido com 50% de cada tipo de alumínio que foi utilizado para a incorporação.

Pode-se observar que o elemento majoritário é o alumínio, representando 96,6% para as latas de alumínio e 98,5% para o alumínio oriundo da indústria. Um percentual maior para o alumínio da indústria era esperado visto que a composição das latas de bebidas é diversificada, pois a liga de alumínio utilizada no corpo da embalagem é diferente da liga do anel da lata. Além disto, os percentuais encontrados para as latas de bebidas foram muito próximos aos encontrados por Escalera-Lozano et al. (2008). Os outros elementos constituintes eram previstos pois foram utilizados resíduos de alumínio para a pesquisa.

Tabela 6 - Média da composição química do alumínio reciclado.

Amostra	Al (%)	Mg (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Si (%)
Latas de alumínio	96,67	1,49	0,74	0,56	0,18	0,18
Resíduo industrial	98,54	0,43	0,09	0,23	0,05	0,58
Lingote 50/50 (matriz)	96,71	0,91	0,52	0,52	0,14	0,51

4.4 Compósito de matriz metálica

4.4.1 Microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura

Nas

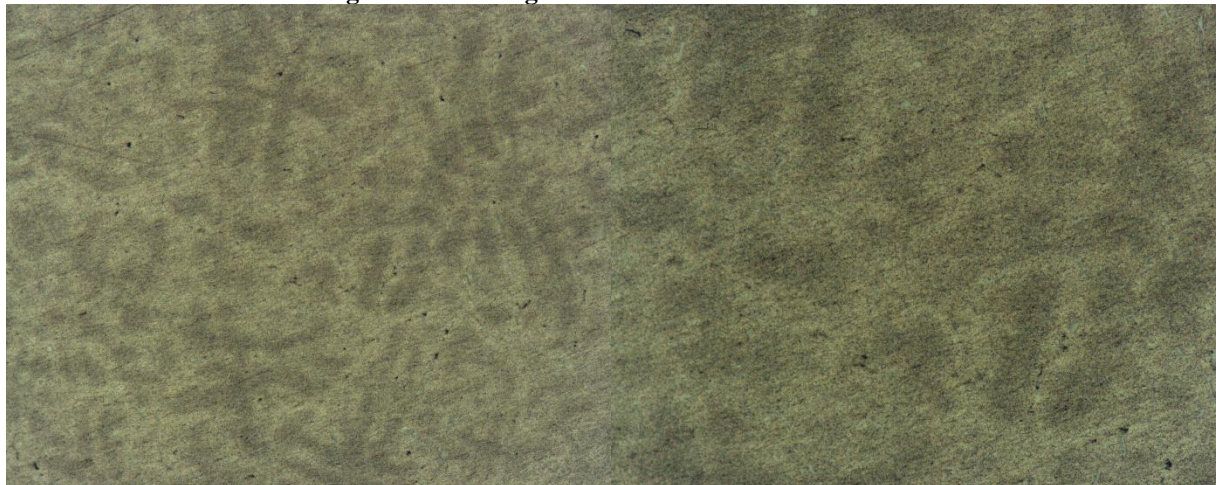
Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25 estão apresentadas as micrografias das amostras 1 e 2 e de suas respectivas matrizes. Pode-se observar a presença de aglomerações de coloração esbranquiçada nas imagens das amostras 1 e 2, que podem ser referentes a CCA incorporada na amostra. Nas figuras das matrizes não observa-se essas aglomerações, evidenciando assim que a CCA pode estar dispersa na matriz.

Alaneme et al. (2013) em seus estudos também observaram a incorporação dos reforços na matriz através do microscópio óptico. Os pesquisadores analisaram as características de fabricação e o comportamento mecânico de compósitos híbridos fabricados utilizando CCA e alumina. Prasad et al. (2014) investigaram as propriedades mecânicas de compósitos híbridos de CCA e carvão de silício e também constataram a incorporação dos reforços através desta técnica.

A Figura 26 apresenta as micrografias das amostras 1 e 3 obtidas através do MEV. As possíveis reações que ocorrem durante o processo de incorporação da CCA na matriz de alumínio foram descritas por Deshmukh et al. (2011) e estão apresentadas abaixo (equações de 2 a 7). Segundo os pesquisadores, as reações 2, 4 e 7 são as possíveis reações que ocorrem, sendo que as reações 3, 5 e 6 são reações transitórias. Isto poderá ser comprovado através da análise do MEV-EDS que está sendo realizada, que irá mostrar a composição das micrografias da Figura 26.



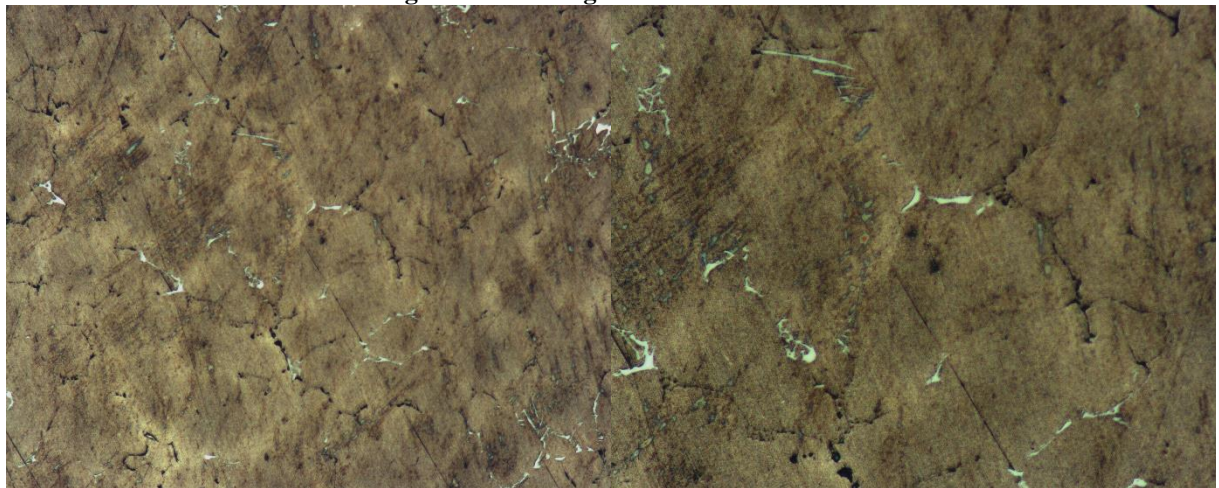
Figura 22 - Micrografia da matriz da amostra 1.



(a) aproximação 100x

(b) aproximação 200x

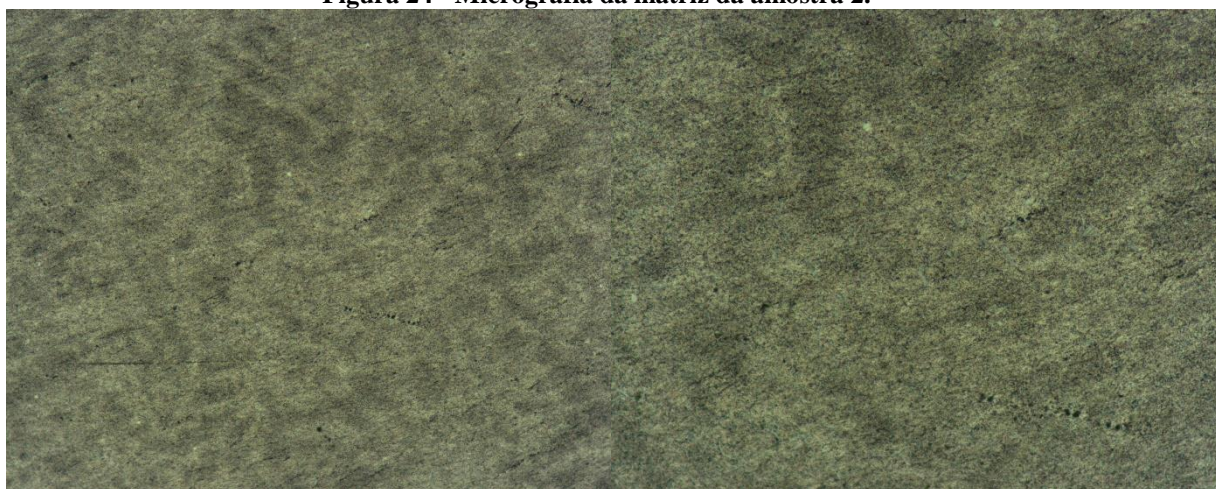
Figura 23 - Micrografia da amostra 1.



(a) aproximação 100x

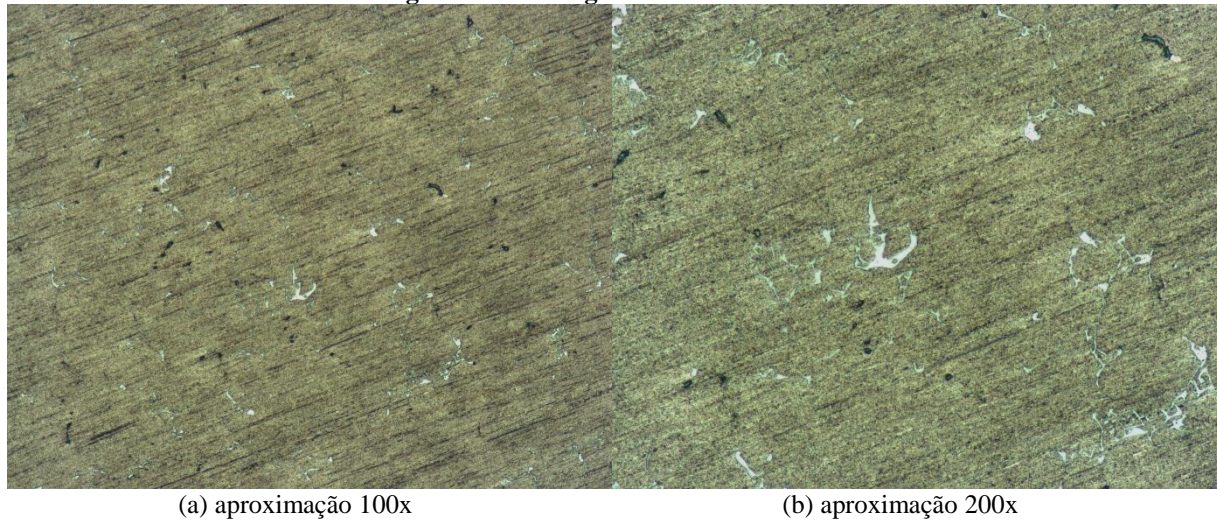
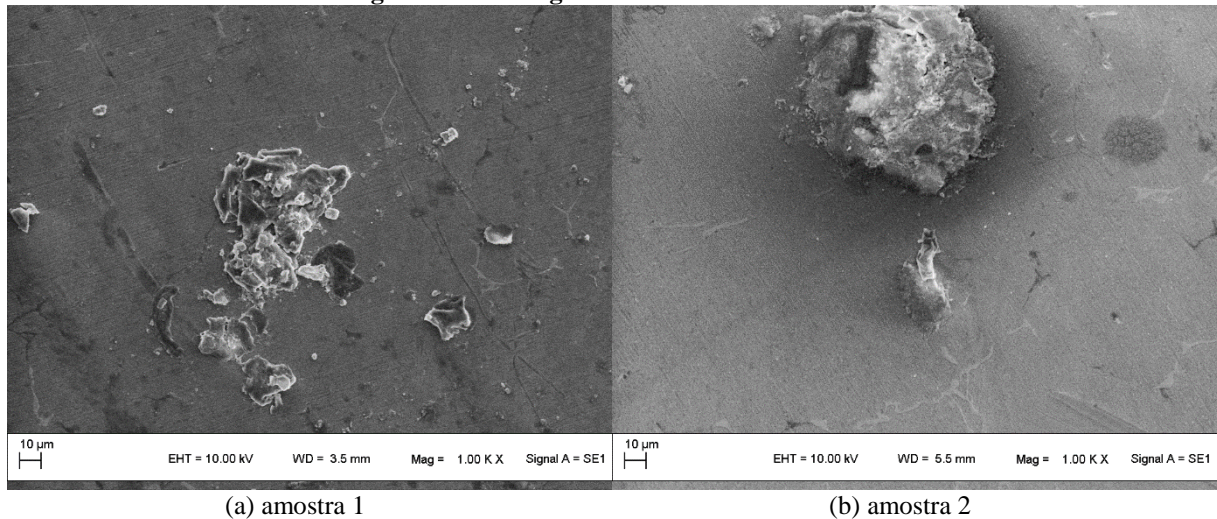
(b) aproximação 200x

Figura 24 - Micrografia da matriz da amostra 2.



(a) aproximação 100x

(b) aproximação 200x

Figura 25 - Micrografia da amostra 2.**Figura 26 - Micrografias das amostras 1 e 2.**

4.4.2 Teste de densidade

Os resultados do teste de densidade nas amostras matriz e com adição de CCA estão expostos na Figura 27. Pode-se observar que houve uma diminuição da densidade da amostra 1 para a amostra 2. Este fato é associado à menor densidade da CCA, a qual, segundo Bezerra et al. (2011), é de $0,4 \text{ g/cm}^3$. A mistura dos dois tipos de alumínio utilizados neste experimento apresentou uma densidade média de $2,3 \text{ g/cm}^3$. Portanto, com o aumento do percentual de incorporação de CCA, a densidade do material obtido diminui pois os espaços são preenchidos por um material de baixa densidade. O mesmo foi observado por Prasad et al. (2014). A diferença da amostra matriz para as outras amostras pode ter ocorrido em função da formação de poros devido a fundição não ocorrer com controle da atmosfera.

Figura 27 - Gráfico da variação da densidade das amostras.

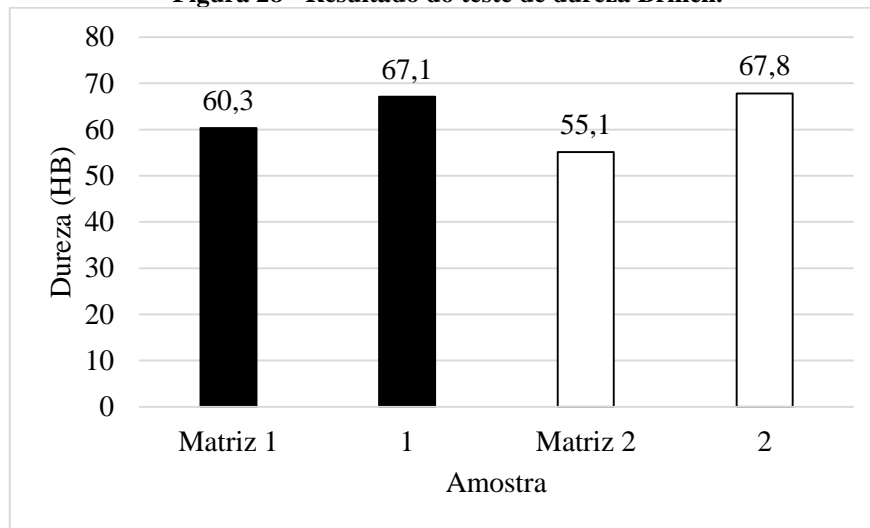


4.4.3 Ensaio de dureza Brinell

Os resultados obtidos para o teste de dureza estão apresentados na Figura 28. Observou-se que com o aumento da porcentagem de CCA obteve-se um aumento na dureza em 11,3% para a amostra com adição de 1% de CCA e em 23% para a amostra com incorporação de 4% de CCA. Observações similares foram relatadas por Prasad e Krishna (2011); Saravanan et al. (2013); Usman et al. (2014). O aumento na dureza é atribuído à CCA, o qual é um material duro pois apresenta compostos como SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 em sua composição química. (SARAVANAN et al., 2013). A presença dessas superfícies duras oferece mais resistência à deformação plástica, aumentando assim a dureza do material (NARASARAJU e RAJU, 2015).

El-Galy et al. (2017) investigaram a dureza de compósitos de alumínio reforçados com partículas de carvão de silício. Os pesquisadores concluíram que com o aumento da porcentagem de partículas adicionadas, houve um aumento dos valores de dureza dos materiais produzidos. O mesmo foi observado nesta pesquisa utilizando a CCA. Além disso, El-Galy et al observaram que com a diminuição do tamanho das partículas incorporadas, os valores de dureza aumentaram.

Pradeep Kumar et al. (2017) produziram em sua pesquisa compósitos de alumínio com carvão de titânio e avaliaram as propriedades mecânicas desta mistura através de testes de dureza Brinell. Um aumento de 22,23 e 45% foi observado para amostras com adição de 5 e 10% em massa de carvão de titânio. Valor similar ao encontrado pela amostra com adição de 4% em massa de CCA.

Figura 28 - Resultado do teste de dureza Brinell.

4.4.4 Ensaio de força de impacto Charpy

Os valores apresentados na Tabela 7 são a média dos três corpos de prova de cada amostra. Amne Elahi e Shabestari (2016) realizaram diversos testes para analisar a resistência ao impacto da liga de alumínio A356, que é da família das ligas Al-Si-Mg, podendo ter entre 6,5 a 7,5% de Si e 0,2 a 0,45% de Mg em sua composição. A amostra que não sofreu nenhum tratamento apresentou uma dureza de impacto de 2,2 J.

Comparando-se os resultados encontrados por Amne Elahi e Shabestari (2016) com os encontrados nas amostras 1 e 2, pode-se afirmar que a incorporação da CCA no alumínio diminuiu a fragilidade do material em torno de 180%, pois as amostras 1 e 2 absorveram mais energia, 6,57 e 5,88 J respectivamente.

Tabela 7 - Resultado do ensaio de força de impacto Charpy.

Amostra	Dureza do impacto (J)
1	6,57
2	5,88

5 CONCLUSÃO

O resultado obtido com a caracterização da CCA demonstra que este material tem um valor de aplicação para diversas áreas. A cinza apresenta elevados percentuais em massa de dióxido de silício (90% em sua composição) e encontra-se na forma amorfa, estando mais propensa para sua utilização. Além do mais, a disponibilidade da CCA no Vale do Rio Pardo é vasta devido as diversas empresas beneficiadores de arroz localizadas nesta região.

As duas fontes de alumínio produzem, após sua fundição, um material com elevado teor de alumínio, acima de 95%, sendo assim uma ótima fonte deste metal. O processo de reciclagem das latas de bebidas no Brasil já é bastante difundido, demonstrando assim a viabilidade da utilização desta fonte de alumínio. Além disso, o resíduo industrial empregado nesta pesquisa é produzido em elevados volumes pelas empresas metalúrgicas, evidenciando sua empregabilidade como matéria-prima em outros processos.

Através das análises realizadas (microscópio óptico), foi demonstrado que a incorporação da CCA no alumínio ocorreu, produzindo assim um CMM. Entretanto, este processo de incorporação precisa ser aprimorado para obter-se uma distribuição mais uniforme do reforço. Este é um problema reportado por diversos pesquisadores.

As características avaliadas (densidade, dureza e força de impacto) apresentaram uma melhoria nos resultados, evidenciando a potencialidade da utilização da CCA como reforço. Mais testes deveriam ser realizados para obter uma melhor caracterização das amostras e para posteriormente recomendar sua aplicação em determinados setores.

Através desta pesquisa, foi possível entender a importância da revalorização de resíduos sólidos que são descartados no meio ambiente. Visto que com este processo é evidente a agregação de valor nos materiais, além de valorizar e incrementar a indústria.

6 REFERÊNCIAS

ABAL, A. B. d. A. Fundamentos e Aplicações do Alumínio. São Paulo: Abal, 2007.

_____. Estatísticas nacionais: Alumínio primário. 2017a. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/aluminio-primario/producao-mensal/> >. Acesso em: 02/03/2017.

_____. Estatísticas nacionais: Reciclagem. 2017b. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio/> >. Acesso em: 09/03/2017.

_____. Estatísticas nacionais: Transformados. 2017c. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/transformados/consumo-domestico-por-setor/> >. Acesso em: 09/03/2017.

_____. Reciclagem no brasil. 2017d. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/reciclagem-no-brasil/> >. Acesso em: 08/03/2017.

_____. Alumínio: Processos de produção. Reciclagem, 2018. Disponível em: < <http://abal.org.br/aluminio/processos-de-producao/reciclagem/> >. Acesso em: 23/01/2018.

ABDULKADIR, A.; AJAYI, A.; HASSAN, M. I. Evaluating the Chemical Composition and the Molar Heat Capacities of a white Aluminum Dross. Energy Procedia, v. 75, p. 2099-2105, 2015. ISSN 1876-6102. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215010942> >.

ALANEME, K. K. et al. Fabrication characteristics and mechanical behaviour of rice husk ash – Alumina reinforced Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites. Journal of Materials Research and Technology, v. 2, n. 1, p. 60-67, 1// 2013. ISSN 2238-7854. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785413000136> >. Acesso em: 2013/3//.

AMNE ELAHI, M.; SHABESTARI, S. G. Effect of various melt and heat treatment conditions on impact toughness of A356 aluminum alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, v. 26, n. 4, p. 956-965, 2016. ISSN 1003-6326. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1003632616641912> >.

ANNIGERI, U. K.; KUMAR, G. B. V. Method of stir casting of Aluminum metal matrix Composites: A review. Materials Today: Proceedings, v. 4, n. 2, Part A, p. 1140-1146, 2017. ISSN 2214-7853. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531730130X> >.

ATKINS, P. W.; JONES, L. Princípios da química: questionando a vida moderna e o meio ambiente 5. Bookman Companhia, 2012. ISBN 0-7167-3596-2.

BEHERA, R.; MOHANTA, N. R.; SUTRADHAR, G. Distribution of SiC particulates in stir cast aluminium alloy metal matrix composites and its effect on mechanical properties.

International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, v. 1, p. 194-200, 2012.

BEZERRA, I. M. et al. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 6, p. 639-646, 2011. ISSN 1415-4366.

BODUNRIN, M. O.; ALANEME, K. K.; CHOWN, L. H. Aluminium matrix hybrid composites: a review of reinforcement philosophies; mechanical, corrosion and tribological characteristics. Journal of Materials Research and Technology, v. 4, n. 4, p. 434-445, 2015. ISSN 2238-7854. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785415000691> >.

CHAUDHARY, D. S.; JOLLANDS, M. C.; CSER, F. Recycling rice hull ash: A filler material for polymeric composites? Advances in Polymer Technology, v. 23, n. 2, p. 147-155, 2004. ISSN 1098-2329.

COLTRO, L. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas: CETEA/ITAL: 75 p. 2007.

CONAB. Séries históricas. Companhia Nacional de Abastecimento, 2017. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=1#A_objcmsconteudos >. Acesso em: 11/01/2017.

CORDEIRO, L. d. N. P.; MASUERO, Â. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de refinamento de Rietveld. 2014. ISSN 1517-7076.

DAS, D. K. et al. Fabrication and heat treatment of ceramic-reinforced aluminium matrix composites - a review. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, v. 9, n. 1, p. 6, 2014. ISSN 2198-2791. Disponível em: < <https://doi.org/10.1186/s40712-014-0006-7> >.

DAVID, E.; KOPAC, J. Hydrolysis of aluminum dross material to achieve zero hazardous waste. Journal of Hazardous Materials, v. 209–210, p. 501-509, 3/30/ 2012. ISSN 0304-3894. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412000957> >.

DE SOUZA, M. et al. Rice hull-derived silica: applications in Portland cement and mullite whiskers. Materials Research, v. 3, n. 2, p. 25-30, 2000. ISSN 1516-1439.

DE SOUZA, M.; MAGALHÃES, W.; PERSEGIL, M. Silica derived from burned rice hulls. Materials research, v. 5, n. 4, p. 467-474, 2002. ISSN 1516-1439.

DELLA, V. P. et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. Química Nova, v. 29, n. 6, p. 1175, 2006. ISSN 0100-4042.

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. Química nova, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001. ISSN 0100-4042.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. *Materials Letters*, v. 57, n. 4, p. 818-821, 2002. ISSN 0167-577X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X02008790> >.

DESHMUKH, P. Y. et al. Synthesis and Characterization of Al–Mg–SiO₂ Particulate Composite Using Amorphous SiO₂ from Rice Husk Ash. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, v. 64, n. 6, p. 575-581, 2011. ISSN 0975-1645. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s12666-011-0083-8> >.

DOS SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, C. E.; KNISS, C. T. Avaliação de desempenho ambiental na valorização de resíduos sólidos de processos industriais. *Revista de Administração da UFSM*, v. 7, p. 75-92, 2014. ISSN 1983-4659.

EL-GALY, I. M.; AHMED, M. H.; BASSIOUNY, B. I. Characterization of functionally graded Al-SiCp metal matrix composites manufactured by centrifugal casting. *Alexandria Engineering Journal*, v. 56, n. 4, p. 371-381, 2017. ISSN 1110-0168. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681730100X> >.

ESCALERA-LOZANO, R. et al. Degradation of Al/SiCp composites produced with rice-hull ash and aluminum cans. *Waste Management*, v. 28, n. 2, p. 389-395, // 2008. ISSN 0956-053X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07000098> >.

FERNANDES, I. J. et al. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa. 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2015.

FERNANDES, L.; SABINO, M.; ROSSETTO, H. Method of extration of silica from rice hull. *Cerâmica*, v. 60, n. 353, p. 160-163, 2014. ISSN 0366-6913.

HAMAD, M. A.; KHATTAB, I. A. Effect of the combustion process on the structure of rice hull silica. *Thermochimica Acta*, v. 48, n. 3, p. 343-349, 1981. ISSN 0040-6031. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040603181802559> >.

HASHIM, J.; LOONEY, L.; HASHMI, M. S. J. The enhancement of wettability of SiC particles in cast aluminium matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 119, n. 1-3, p. 329-335, 2001. ISSN 0924-0136. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013601009190> >.

IAI, I. A. I. Statistics: Primary Aluminium Production. 2017. Disponível em: < <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#map> >. Acesso em: 02/03/2017.

IBGE. 2015. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201604_7.shtm >. Acesso em: 17/05/2016.

IRGA. Produção municipal 2015/16. 2017. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/6911/safras> >. Acesso em: 29/11/2017.

JAMES, J.; RAO, M. S. Silica from rice husk through thermal decomposition. *Thermochemica Acta*, v. 97, p. 329-336, 1986. ISSN 0040-6031. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040603186870356> >.

JUNIOR, A.; DINIZ, M. J. Produção de nanopartículas de silício embebidas em uma matriz de alumínio via técnica de melt spinner. 2014.

KALA, H.; MER, K. K. S.; KUMAR, S. A Review on Mechanical and Tribological Behaviors of Stir Cast Aluminum Matrix Composites. *Procedia Materials Science*, v. 6, p. 1951-1960, 2014. ISSN 2211-8128. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221181281400594X> >.

KUMAR, R.; DHIMAN, S. A study of sliding wear behaviors of Al-7075 alloy and Al-7075 hybrid composite by response surface methodology analysis. *Materials & Design*, v. 50, p. 351-359, 2013/09/01/ 2013. ISSN 0261-3069. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306913001490> >.

LI, Y. et al. A new method of comprehensive utilization of rice husk. *Journal of Hazardous Materials*, v. 186, n. 2-3, p. 2151-2156, 2011. ISSN 0304-3894. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411000355> >.

LIOU, T.-H. Evolution of chemistry and morphology during the carbonization and combustion of rice husk. *Carbon*, v. 42, n. 4, p. 785-794, 2004. ISSN 0008-6223. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622304000600> >.

LIU, Y. et al. A sustainable route for the preparation of activated carbon and silica from rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials*, v. 186, n. 2-3, p. 1314-1319, 2011. ISSN 0304-3894. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410015852> >.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. *Revista Gestão Industrial*, v. 8, n. 1, p. 219-232, 2012. ISSN 1808-0448.

MA, X. et al. A recyclable method for production of pure silica from rice hull ash. *Powder Technology*, v. 217, p. 497-501, 2012. ISSN 0032-5910. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591011006292> >.

MA, Y. et al. Comprehensive utilization of the hydrolyzed productions from rice hull. *Industrial Crops and Products*, v. 33, n. 2, p. 403-408, 2011. ISSN 0926-6690. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010002840> >.

MANFREDI, O.; WUTH, W.; BOHLINGER, I. Characterizing the physical and chemical properties of aluminum dross. *JOM*, v. 49, n. 11, p. 48-51, 1997. ISSN 1047-4838.

MAPA, M. d. A. Arroz. 2016. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz> >. Acesso em: 17/05/2016.

MARTINS, M. R. S.; DA SILVA, J. G. F. O sistema de gestão ambiental baseado na ISO 14000: Importância do instrumento no caminho da sustentabilidade ambiental. *Revista*

Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 4, p. 1460-1466, 2015. ISSN 2236-1170.

MENEZES, R. et al. Obtenção de mulita porosa a partir da sílica da casca de arroz e do acetato de alumínio (Porous mullite obtained using silica from rice husk and aluminum acetate). *Cerâmica*, v. 54, p. 245-252, 2008.

MIRACLE, D. B. Metal matrix composites – From science to technological significance. *Composites Science and Technology*, v. 65, n. 15–16, p. 2526-2540, 2005. ISSN 0266-3538. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353805002058> >.

NARASARAJU, G.; RAJU, D. L. Characterization of Hybrid Rice Husk and Fly ash-Reinforced Aluminium alloy (AlSi10Mg) Composites. *Materials Today: Proceedings*, v. 2, n. 4–5, p. 3056-3064, 2015. ISSN 2214-7853. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315004903> >.

NBR. Materiais metálicos - Ensaio de impacto por pêndulo Charpy 148-1: ABNT 2009.

_____. Materiais metálicos - Ensaio de dureza Brinell 6506: ABNT 2010.

OZBEN, T.; KILICKAP, E.; ÇAKIR, O. Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 198, n. 1, p. 220-225, 2008. ISSN 0924-0136. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607006735> >.

PATEL, M.; KARERA, A.; PRASANNA, P. Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk. *Journal of Materials Science*, v. 22, n. 7, p. 2457-2464, 1987. ISSN 0022-2461.

PENHA, R. S. et al. Casca de arroz quimicamente tratada como adsorvente de baixo custo para a remoção de íons metálicos (Co²⁺ e Ni²⁺). *Revista Virtual de Química*, 2016. ISSN 1984-6835.

PEREIRA, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 20, n. 1, p. 227-238, 2015. ISSN 1517-7076.

POUEY, M. T. F. Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico. 2006.

PRABU, S. B. et al. Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 171, n. 2, p. 268-273, 2006. ISSN 0924-0136. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605007430> >.

PRADEEP KUMAR, G. S. et al. Microstructure and mechanical behaviour of in situ fabricated AA6061–TiC metal matrix composites. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, v. 17, n. 3, p. 535-544, 2017. ISSN 1644-9665. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966516301583> >.

PRASAD, D. S.; KRISHNA, R. Production and mechanical properties of A356. 2/RHA composites. International journal of advanced science and technology, v. 33, p. 51-58, 2011. ISSN 2005-4238.

PRASAD, D. S.; SHOBA, C.; RAMANAIAH, N. Investigations on mechanical properties of aluminum hybrid composites. Journal of Materials Research and Technology, v. 3, n. 1, p. 79-85, 2014. ISSN 2238-7854. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785413001191> >.

ROHATGI, P. Cast aluminum-matrix composites for automotive applications. Jom, v. 43, n. 4, p. 10-15, 1991. ISSN 1047-4838.

SANTOS, H. et al. Ligas Al-Si conformadas por "spray"- Caracterização por difração de raios X. 62º Congresso Anual da ABM Vitória - ES 2007.

SANTOS, M. C. et al. Machining of aluminum alloys: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 1-14, 2016. ISSN 1433-3015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-8431-9> >.

SARAVANAN, S.; SENTHILKUMAR, M.; SHANKAR, S. Effect of particle size on tribological behavior of rice husk ash-reinforced aluminum alloy (AlSi10Mg) matrix composites. Tribology Transactions, v. 56, n. 6, p. 1156-1167, 2013. ISSN 1040-2004.

SARAVANAN, S. D.; KUMAR, M. S. Effect of Mechanical Properties on Rice Husk Ash Reinforced Aluminum Alloy (AlSi10Mg) Matrix Composites. Procedia Engineering, v. 64, p. 1505-1513, 2013. ISSN 1877-7058. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813017463> >.

SCHLESINGER, M. E. Aluminum recycling. CRC Press, 2013. ISBN 1466570245.

SHINZATO, M. C.; HYPOLITO, R. Solid waste from aluminum recycling process: characterization and reuse of its economically valuable constituents. Waste Management, v. 25, n. 1, p. 37-46, // 2005. ISSN 0956-053X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001412> >.

SINGH, J.; CHAUHAN, A. Characterization of hybrid aluminum matrix composites for advanced applications – A review. Journal of Materials Research and Technology, v. 5, n. 2, p. 159-169, 2016/04/01/ 2016. ISSN 2238-7854. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785415000708> >.

SUKUMARAN, K. et al. The effects of magnesium additions on the structure and properties of Al-7 Si-10 SiC p composites. Journal of materials science, v. 30, n. 6, p. 1469-1472, 1995. ISSN 0022-2461.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M. A. Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. Chemosphere, v. 54, n. 7, p. 987-995, 2004. ISSN 0045-6535.

THODE FILHO, S. et al. Tecnologia ambiental aplicada ao gerenciamento e processamento do óleo vegetal residual no estado do Rio de Janeiro. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 15, n. 15, p. 3026-3035, 2013. ISSN 2236-1170.

TSAKIRIDIS, P. E. Aluminium salt slag characterization and utilization – A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 217–218, p. 1-10, 2012. ISSN 0304-3894. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412003317> >.

USMAN, A. M. et al. Aluminium alloy-rice husk ash composites production and analysis. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, v. 1, n. 13, p. 84-98, 2014. ISSN 1583-1078.

VENTURA, A. M. F. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, v. 21, n. 3-4, p. 10-19, 2009. ISSN 0870-8312.

VERRAN, G. O.; KURZAWA, U.; GABOARDI, G. G. Reciclagem de latas de alumínio usando fusão em forno elétrico à indução. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2007. ISSN 1808-7310.

YALÇIN, N.; SEVINÇ, V. Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics International*, v. 27, n. 2, p. 219-224, 2001. ISSN 0272-8842.

YASHPAL et al. Fabrication of Aluminium Metal Matrix Composites with Particulate Reinforcement: A Review. *Materials Today: Proceedings*, v. 4, n. 2, Part A, p. 2927-2936, 2017/01/01/ 2017. ISSN 2214-7853. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317303747> >.

ANEXO A - Questionário para engenhos de arroz da região do Vale do Rio Pardo

Função do informante: Diretora

Questões:

1. Qual a quantidade de arroz beneficiado por ano (2016 ou 2015)? O beneficiamento é feito ao longo do ano? Em caso negativo, em que período?

Em torno de 48.000 sacas de 50 KG por ano.

2. Qual a procedência do arroz?

Produtores da região.

3. Como o arroz é selecionado em seu Engenho?

É selecionado com tries e selecionadoras de grãos.

4. Quais são os parâmetros que são avaliados para a compra do arroz?

Tem que ser arroz com casca que dê tipo 1 com 58% de grãos inteiros e bom rendimento.

5. Qual é a região do RS que apresenta o melhor tipo de arroz em termos de qualidade (menos quebras)?

Capivari.

6. Qual a quantidade de casca obtida por ano?

Em torno de 600 toneladas.

7. Qual o destino da casca (queimada, vendida, doada, outro)?

Vai para aviários, olarias, canteiros de moranguinho, cama de gado.

8. No caso de ser queimada:

- a. Qual a quantidade de casca queimada?

- b. Qual o período de queima (meses ou todo ano)?

- c. Qual a temperatura e qual o tempo de queima?
- d. Qual o sistema de queima (grelha fica, grelha deslizante, leito fluidizado, outro)?
- e. Qual a quantidade de cinza obtida?
- f. Qual o sistema de escoamento da cinza (seco ou úmido)?
- g. Qual o destino da cinza?

9. No caso da casca ser vendida ou doada:

- a. Qual a quantidade? Referente a quantidade beneficiada.
- b. Para quem? Produtores de moranguinho, criadores de gado confinado, cocheiras de cavalo, aviários, olarias
- c. Para que uso? Cama de gado, cavalo, frangos, fazer tijolos.

10. No caso de outra alternativa, por favor, identificar o destino e o destinatário.

ANEXO B - Questionário para engenhos de arroz da região do Vale do Rio Pardo

Função do informante: sócio gerente/gerente

Questões:

1. Qual a quantidade de arroz beneficiado por ano (2016 ou 2015)? O beneficiamento é feito ao longo do ano? Em caso negativo, em que período?

Quantidade no ano de 2016 foi de 6.150 toneladas, e distribuído.

2. Qual a procedência do arroz?

De produtores da região, tais como de Rio Pardo e Pantano Grande RS.

3. Como o arroz é selecionado em seu Engenho?

No ingresso é avaliado no laboratório.

4. Quais são os parâmetros que são avaliados para a compra do arroz?

Pela qualidade, determinando se é tipo 1 tipo 2 ou outros, e pela quantidade de grãos inteiros e quebrados.

5. Qual é a região do RS que apresenta o melhor tipo de arroz em termos de qualidade (menos quebras)?

Na região de Palmares do Sul, onde sopra ventos costeiros e de boa insolação.

6. Qual a quantidade de casca obtida por ano?

Aproximadamente a casca representa aproximadamente 23% do peso do arroz, portanto a quantidade de peso da casca na nossa empresa é de 1.414 toneladas.

7. Qual o destino da casca (queimada, vendida, doada, outro)?

Doada quase na sua totalidade.

8. No caso de ser queimada:

- a. Qual a quantidade de casca queimada?
- b. Qual o período de queima (meses ou todo ano)?
- c. Qual a temperatura e qual o tempo de queima?
- d. Qual o sistema de queima (grelha fica, grelha deslizante, leito fluidizado, outro)?
- e. Qual a quantidade de cinza obtida?
- f. Qual o sistema de escoamento da cinza (seco ou úmido)?
- g. Qual o destino da cinza?

9. No caso da casca ser vendida ou doada:

- a. Qual a quantidade? Para quem? 1.414 toneladas. Empresas que tem colocação.
- b. Para que uso? Cama de aviário, agricultura (forro de plantação de morangos) caldeiras.

10. No caso de outra alternativa, por favor, identificar o destino e o destinatário.