

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 30/01/2023.

**Universidade Estadual Paulista - UNESP
"Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente
Pós Graduação em Ciências dos Materiais - POSMAT**

NELISSA GARCIA BALARIM

**Produção de compósitos de gesso com a incorporação do resíduo
*Dregs.***



**PRESIDENTE PRUDENTE
2021**

NELISSA GARCIA BALARIM

**Produção de compósitos de gesso com a incorporação do resíduo
*Dregs.***

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- Programa de Pós graduação em Ciências e Tecnologia de Materiais, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos, híbridos e Nano-Estruturados, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job e coorientação do Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera.

**PRESIDENTE PRUDENTE
2021**

B171p

Balarim, Nelissa Garcia

Produção de compósitos de gesso com a incorporação do resíduo
Dregs / Nelissa Garcia Balarim. -- Presidente Prudente, 2021
90 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Aldo Eloizo Job

Coorientador: Flávio Camargo Cabrera

1. produção de compósitos. 2. reciclagem de resíduos. 3.
compósitos de gesso. 4. sustentabilidade na construção civil. 5. gestão
de resíduos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE NELISSA GARCIA BALARIM, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de julho do ano de 2021, às 14:00 horas, no(a) por videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de NELISSA GARCIA BALARIM, intitulada "**Produção de compósitos de gesso com a Incorporação de resíduo Dregs**". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS (Participação Virtual) do(a) Toledo / Toledo Centro Universitário, Profa. Dra. ANA MARIA PIRES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química e Bioquímica / UNESP/Câmpus de Presidente Prudente, Prof. Dr. FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - UNESP, Prof. Dr. RODRIGO CAMILO (Participação Virtual) do(a) Universidade Estadual de Maringá. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial/ou virtual, a discente recebeu o conceito final **APROVADA**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB



À minha menina, Laura.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela sua onipresença, por me permitir a vida e por todas as experiências que só fazem aumentar minha fé, de que nada seria possível sem ele.

À minha família pela nossa união, ao meu marido André por todo incentivo, paciência e por acreditar no meu potencial e a minha filha Laura, minha fonte de luz e inspiração.

Aos meus pais, avós e irmão que são meu esteio, minha base, dos quais jamais chegaria aqui, sem todo amor e apoio que me deram.

Ao meu orientador Aldo Eloizo Job, por toda confiança depositada, pela amizade desenvolvida ao longo de mais de 10 anos de convívio, pela compreensão e pelo exemplo de garra e perseverança.

Ao meu co-orientador e amigo Flávio Camargo Cabrera, por toda contribuição científica, empatia e por sempre me inspirar a ser melhor.

Aos técnicos e professores responsáveis pelos laboratórios onde pude realizar alguns ensaios experimentais, Issac, Gleysson, Patrick, prof. Dr. Silvio Rainho e prof. Dr. Fernando Okimoto

Aos amigos do Grupo LTBA, em especial ao Guilherme, Gabrielli, Saulo, Dalita e Andressa pela ajuda e ensinamento.

E aos meus amigos e familiares por todo apoio e incentivo André, Portella, Pedro, Maria Inês, Maria Anita e Ludmila.

Queridos jovens, não enterrem os seus talentos, são dons que Deus lhes deu.
Não tenham medo de sonhar grandes coisas!
(Papa Francisco)

RESUMO

Este estudo propôs uma nova abordagem para o uso do resíduo Dregs, in natura e após o tratamento com Na_2SO_4 para ser usado como substituto ao gesso para a fabricação de compósitos de gesso nas proporções de 5%, 15%, 30% e 45%. Os espectros FTIR mostraram um aumento nas bandas de absorção devido ligações simétricas ν_1 do SO_4^{2-} no resíduo de Dregs tratado, que está relacionado ao tratamento e consequente aumento da quantidade de íons SO_4^{2-} interagindo com os íons Ca^{2+} presentes no resíduo. O resultado de resistência a compressão do gesso após 28 dias foi 17,01 MPa, comparado ao resultado do compósito com 5% de Dregs (GD₅) de 13,84 MPa, houve uma redução de 18,6%, no entanto, o compósito com 5% de Dregs tratado (GDT₅) obteve 17,02 MPa que é similar ao da placa com gesso. Já o resultado para o ensaio de flexão do Gesso em 28 dias foi de 5,08 MPa comparado ao resultado de 4,20 MPa para GD₅ (Dregs 5%), houve uma queda de 17%, enquanto para o GDT₅ (Dregs tratado 5%) o resultado de 5,03 MPa foi semelhante ao da placa de gesso. A incorporação da maior quantidade de resíduo GD₄₅ (Dregs 45%), resultou em uma resistência a compressão de 6,32 MPa e flexão de 0,94 MPa, enquanto para o resíduo tratado GDT₄₅ (Dregs tratado 45%), a compressão foi 8,61 MPa e a flexão foi 2,10 MPa. Mesmo com a incorporação de 45% de Dregs tratado, em 28 dias, os compósitos apresentaram resistência mecânica superior às recomendações internacionais: compressão 8,61 MPa ($\geq 8,3$ MPa recomendação), compressão axial de 8,26 MPa ($\geq 6,0$ MPa), flexão de 2,10 MPa ($\geq 2,0$ MPa) e dureza superficial 22,11 MPa ($\geq 20,0$ MPa).

Palavras-chave: Resíduo, Reciclagem, Dregs, Compósito, Placas de gesso.

ABSTRACT

This study proposes a new approach to use dregs in nature and after a treatment with Na_2SO_4 as a filler to replace gypsum in proportions of 5%, 15%, 30% and 45% in gypsum plaster composites. FTIR results showed an increase of the absorption band due to symmetric ν_1 of SO_4^{2-} in Treated Dregs. It could be related to the treatment performed on the waste, which enhanced SO_4^{2-} interaction with Ca^{2+} ions from waste. The compressive strength of gypsum after 28 days was 17,01 MPa compared to 13,84 MPa for GD_5 (Dregs waste 5%), a reduction of 18,6%, but when compared to 17,02 MPa for GTD_5 (Treated Dregs 5%), the mechanical properties of the composite with Treated Dregs was similar to the gypsum plaster. The flexural of Gypsum in 28 days was 5,08 MPa compared to 4,20 MPa for GD_5 (Dregs 5%) and 5,03 MPa for GTD_5 (Treated Dregs 5%), which was also similar to gypsum plaster. The incorporation of the highest content of waste GD_{45} (Dregs 45%), led to a compressive strength of 6,32 MPa and flexural strength of 0,94 MPa, while for GTD_{45} (Treated Dregs 5%), compressive strength was 8,61 MPa and flexural strength was 2,10 MPa. Even with the incorporation of 45% of Treated Dregs, in 28 days, composites presented mechanical resistance above the standard international recommendations: compressive strength of 8,61 MPa ($\geq 8,3$ MPa recommended), axial compression strength of 8,26 MPa ($\geq 6,0$ MPa), flexure strength test of 2,10 MPa ($\geq 2,0$ MPa) and surface hardness of 22,11 MPa ($\geq 20,0$ MPa).

Keywords: Waste, Recycling, Dregs, Composite, Gypsum plaster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo Kraft e geração de resíduos [6-13].	15
Figura 2. Resíduo Dregs coletados na indústria de celulose kraft.....	16
Figura 3. Fenômenos envolvidos no processo de hidratação. (a) Dissolução, (b)Cristalização, com início da formação dos núcleos de cristalização (c) Endurecimento, com aumento da concentração de cristais a placa vai se endurecendo [22].	24
Figura 4. Etapas da reação de hidratação através da calorimetria adiabática e tempo útil estimado	25
Figura 5. Aparelho de Vicat modificado.....	30
Figura 6. Aparelho de Vicat.	31
Figura 7. Forma cúbica tripla de 50X 50 X50 mm ³ para a obtenção dos corpos de prova.	32
Figura 8. Forma prismática tripla de 40x40x160 mm ³ para a obtenção dos corpos de prova. ...	32
Figura 9. Realização do ensaio de Dureza Superficial.	36
Figura 10. Realização do ensaio de Resistência à Compressão.....	37
Figura 11. Realização do ensaio de Resistência à Tração.....	37
Figura 12. Realização do ensaio de Resistência à Compressão Axial.	38
Figura 13. Aparato para Ensaio Térmico. Adaptado da ASTM C518/17 e da ASTM 1363/19. .	39
Figura 14. Interações do Dregs quando ele é submetido ao tratamento aquoso com Na ₂ SO ₄ . 41	
Figura 15. Curva de distribuição granulométrica do Gesso (—), Dregs (—) e do Dregs Tratado (—).	43
Figura 16. Difratograma de raios X do Gesso, Dregs e Dregs Tratado.	45
Figura 17. Difratograma de raios X dos compósitos com Dregs nas diferentes proporções, 5%, 15%, 30% e 45%.	46
Figura 18. Difratograma de raios X dos compósitos com Dregs tratado nas diferentes proporções, 5%, 15%, 30% e 45%.	46
Figura 19. Espectro no infravermelho do Gesso, Dregs e Dregs tratado.	47
Figura 20. Espectro no infravermelho dos compósitos de gesso com o resíduo Dregs nas proporções de 5, 15,30 e 45%.	49

Figura 21. Espectro no infravermelho dos compósitos de gesso com o resíduo de Dregs tratado nas proporções de 5, 15,30 e 45%.	49
Figura 22. Imagens de MEV do gesso (a) 500x e (b) 2000x de ampliação.....	50
Figura 23. Imagens de MEV do resíduo Dregs (a) 1000x e (b) 5000x de ampliação.	50
Figura 24. Imagens de MEV do Dregs Tratado (a) 500x e (b) 2000x de ampliação.....	50
Figura 25. Resultados do ensaio do Tempo de Pega para os compósitos.....	52
Figura 26. Imagens de MEV para a fratura do compósito de gesso (a) GP com 2000x de ampliação e, (b) GP com 5000x ampliação.	53
Figura 27. Imagens de microscopia eletrônica de varredura para a fratura dos compósitos (a) GD ₅ com 5000x ampliação, (b) GD ₁₅ com 5000x ampliação, (c) GD ₃₀ com 5000x ampliação e (d) GD ₄₅ com 5000x ampliação.	55
Figura 28. Imagens de microscopia eletrônica de varredura para a fratura dos compósitos (a) GDT ₅ com 5000x de ampliação, (b) GDT ₁₅ com5000x de ampliação, (c) GDT ₃₀ com 5000x de ampliação e (d) GDT ₄₅ com 5000x de ampliação.....	56
Figura 29. Resultados de resistência a compressão para os compósitos com Dregs (esquerda) e Dregs tratado (direita).	58
Figura 30. Resultados de Resistência a Flexão para os compósitos com Dregs (esquerda) e Dregs Tratado (Direita).	59
Figura 31. Resultados de Dureza Superficial para os compósitos com Dregs (esquerda) e Dregs tratado (direita).....	60
Figura 32. Resultados da Resistência à Compressão Axial dos compósitos com Dregs (esquerda) e Dregs Tratado (direita).....	61
Figura 33. Resultados de Densidade para os compósitos com Dregs (esquerda) e Dregs tratado (direita).....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do Dregs.....	16
Tabela 2. Módulo de finura do Gesso, Dregs e Dregs Tratado.....	44
Tabela 3. Atribuições aos picos do FTIR observados na Figura 13 [59-71].....	48
Tabela 4. Quantidade de água necessária (mL de água/ 100 g de pó) para atingir a consistência normal dos compósitos de gesso.....	51
Tabela 5. Resultados dos ensaios Mecânicos para os diferentes compósitos.	57
Tabela 6. Condutividade Térmica determinada através do fluxo de calor.	65

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. Revisão da Literatura	14
3.1. Processo Kraft e geração de resíduos.....	14
3.2 Características do resíduo Dregs.....	16
3.3 Gestão dos Resíduos Dregs	17
3.4 Importância do gesso na construção civil	20
3.5 Processo de Produção de Gesso.....	21
3.6 Impactos ambientais relacionados à extração do gesso	22
3.7 Hidratação do gesso.....	22
3.8 Propriedades da pasta de gesso.....	25
3.9 Compósitos de gesso	26
4. Materiais e Métodos	29
4.1. Materiais.....	29
4.2 Tratamento do Dregs.....	29
4.3 Preparação dos compósitos	29
4.3.1 Determinação da consistência normal.....	29
4.3.2 Determinação do tempo de pega	30
4.3.3 Preparação dos compósitos	31
4.4 Caracterização.....	33
4.4.1 Granulometria.....	33
4.4.2 Módulo de Finura	34
4.4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	34
4.4.4 Difratômetro de Raios-X.....	34
4.4.5 FTIR.....	35
4.4.6 Determinação da dureza dos compósitos conforme NBR 12129 (ABNT, 1991).....	35
4.4.7 Determinação da resistência a compressão dos compósitos conforme NBR 12129 (ABNT, 1991).....	36
4.4.8 Determinação da resistência a compressão o na flexão dos compósitos conforme NBR 13279.	37
4.4.9 Determinação da resistência a compressão axial dos compósitos conforme NBR 13279.....	38
4.4.10 Determinação da Densidade Volumétrica	38

4.4.11 Ensaio de condutividade térmica.....	39
5. Resultados e discussões	41
5.1 Estudo do resíduo tratado	41
5.2 Caracterização.....	43
5.2.1 Granulometria e Determinação do Módulo de Finura	43
5.2.2 Difração de Raios X	45
5.2.3 FTIR/ATR	47
5.2.4 Microscopia eletrônica de varredura.....	50
5.2.5 Determinação das propriedades físicas da pasta	51
5.2.6 Análise morfológica dos compósitos	53
5.2.7 Propriedades Mecânicas.....	56
5.2.8 Condutividade térmica	63
5.3 Indicação para a aplicação do compósito	66
6. Conclusão	68
7. Referências	69
8. Apêndice.....	81

1.0 Introdução

Entre os setores industriais brasileiros, um dos que mais se destaca é a indústria de papel e celulose, que contribui com aproximadamente 5% do PIB nacional, sendo o Brasil o 6º maior produtor de celulose mundial. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores, em 2019, a indústria de papel e celulose produziu 19,7 milhões de toneladas de celulose [1].

O processo produtivo da celulose consiste basicamente no cozimento da madeira em um tanque de digestão a fim de extrair as fibras [2,3]. Durante este processo são gerados grandes volumes de resíduos sólidos (86 milhões de ton/ano), entre os resíduos destacam-se o dregs, grits, lama de cal, cinzas e areia da queima da biomassa e lodo [4,5].

O resíduo Dregs é o principal resíduo gerado, que corresponde a 15 kg por tonelada seca de celulose produzida, o que é equivalente a 2,7 milhões de toneladas anualmente [6]. Normalmente este resíduo é disposto em aterros, o que implica na geração de custos para destinação e transporte [7].

Este resíduo é constituído basicamente por carbonato de cálcio (CaCO_3), que se apresenta em maiores proporções seguido pelo carbonato de sódio [8] e pequenas frações de sulfatos e demais óxidos, com pH próximo a 11 [9,10]. De acordo com a NBR10004/04 (ABNT, 2014) [11] este resíduo é classificado como não perigoso, por não apresentar toxicidade ou riscos à saúde pública ou à qualidade ambiental [12].

Uma vez que o resíduo Dregs apresenta altas concentrações de carbonato de cálcio (aproximadamente 40%), estudos recentes tem avaliado a viabilidade da utilização deste resíduo como substituto ao cimento na produção de concretos e argamassas [13-15], compostagem [16] e compósitos de cerâmica [17,18]. Outras pesquisas investigaram o uso do Dregs como agregado na produção de pavimentos para rodovias [19] ou como carga para a produção de geopolímeros de biomassa [20].

Em nosso grupo de pesquisa, a utilização do resíduo Dregs já foi proposta como carga de reforço para a produção de compósitos de borracha, encontrando

resultados satisfatórios como aumento da resistência da abrasão com a incorporação de 10 phr (massa em peso em relação à borracha) de resíduo [21].

O gesso é composto pelo sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e para sua utilização é adicionado água, que induz o processo de hidratação e cristalização do gesso, formando o sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e com a sua secagem permite o desenvolvimento de resistência ao material [22].

O resultado da secagem é um material poroso com uma alta superfície interna constituída por um entrelaçado de cristais em formato de agulha [23]. E o arranjo desta microestrutura determinará as propriedades físicas e mecânicas desses materiais [24].

Existem várias aplicações para o gesso como a produção de placas de gesso para utilização no interior das construções, revestimento de paredes, placas de dry-wall, componentes pré-fabricados e decoração [25-27]. Entre suas vantagens destacam-se, sua disponibilidade, baixo custo, secagem rápida e leveza [28].

Entretanto, a cadeia produtiva do gesso produz diversos impactos ambientais como poluição atmosférica, geração de resíduos e degradação da vegetação [29], que ocorrem devido ao processo de mineração e extração do gesso [30]. Assim, o estudo da viabilidade de produzir compósitos de gesso a partir da incorporação de resíduos, como carga, pode vir a contribuir para a diminuição do consumo de recursos naturais [31,32], redução de custos e energia gasta no processo [33].

Recentemente, nosso grupo de pesquisa estudou a reutilização da lama de cal, outro resíduo oriundo da indústria da celulose, como carga na produção de compósitos de gesso nas seguintes proporções 5%, 15% e 25%, resultando em um material com resistência mecânica acima das normas e recomendações requeridas internacionalmente [34]. Entretanto, a substituição do gesso pelo resíduo interfere no mecanismo de cristalização do gesso e conseqüentemente reduz a resistência mecânica.

Alguns pré-tratamentos, como modificação química por meio de tratamento alcalino [35,36] ou tratamento biológico com enzimas [37] já foram utilizados para tratar resíduos fibrosos como, fibras de tamareira [38] e fibras de cânhamo [28] para melhorar a adesão entre o gesso e a fibra. Também já foram utilizados

aditivos ao emplasto de gesso como ácido cítrico, ácido málico [39], policrilato de sódio [40] e ácido tartárico [41], a fim de melhorar o desempenho mecânico.

Assim, neste trabalho, estudamos a substituição do gesso pelo resíduo Dregs in natura e após o tratamento com sulfato de sódio a fim de possibilitar a utilização do resíduo em maiores proporções nos compósitos, preservando as propriedades mecânicas acima dos limites queridos pelas normas regulamentadoras, promovendo um destino adequado para este resíduo industrial.

6. Conclusão

Este estudo demonstrou uma alternativa para a reutilização do Dregs como substituinte ao gesso na produção de compósitos. O tratamento proposto para o resíduo Dregs promoveu uma melhoria no processo de cristalização, com maior número de cristais formados e com maior interligação e interação entre eles. Além disso, os bons resultados nas propriedades mecânicas permitem a reutilização do resíduo bem como a possibilidade da aplicação dos compósitos para a produção de artefatos de gesso como revestimento, argamassa, decoração e placas de gesso.

Os resultados de resistência a flexão, compressão e dureza demonstraram um incremento nas propriedades dos compósitos produzidos com resíduo de Dregs tratado. E os materiais apresentaram resistência maior do que as recomendações inseridas nas normas e referências internacionais, mesmo para o compósito com o maior percentual de resíduo (Dregs tratado 45%). Em relação ao teste de resistência a compressão, o compósito GDT₅ apresentou um resultado de 17,02 MPa que é semelhante ao resultado para a placa de gesso que foi 17,01 MPa.

Os resultados de condutividade térmica foram associados à densidade, onde os compósitos com maior percentual de resíduo, apresentaram menor densidade e maior porosidade, resultando em menor condutividade. Para o compósito GDT₄₅ o resultado foi (0,387 W/m·K) sendo superior em termos de maior conforto térmico quando comparado à placa de gesso (0,402 W/m·K).

Assim, os resultados indicam que a proposta para a reutilização do resíduo Dregs permitiu o desenvolvimento de "*eco-friendly material*", com boas propriedades mecânicas e térmicas produzido a partir de um resíduo de acordo com as normas e requerimentos internacionais.

7. Referências

- [1] Indústria Brasileira de árvores. Relatório Iba 2020, <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> (2020). Acessado em 30 de abril de 2021.
- [2] M'HAMDI, A.I., KANDRI, N.I, ZEROUALE, A., BLUMBERGA, D., GUSCA, J.; Life cycle assessment of paper production from treated wood. **Energy Procedia**, v. 128, p. 461-468, 2019.
- [3] QUINA, M.J., PINHEIRO, C.T.; Inorganic Waste Generated in Kraft Pulp Mills: The Transition from Landfill to Industrial Applications. **Applied sciences**, v.10, p.2317,2020.
- [4] AZEVEDO, A.R.G., ALEXANDRE, J., MARVILA, M.T., XAVIER, G.C., MONTEIRO, S.N., PEDROTI, L.G.; Technological and environmental comparative of the processing of primary sludge waste from paper industry for mortar. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119336, 2020.
- [5] KINNARINEN, T., GOLMAEI, M., JERNSTRÖM, E., HÄKKINEN, A.; Separation, treatment and utilization of inorganic residues of chemical pulp mills. **J. Cleaner Prod.**, v.249, p.119336, 2016.
- [6] TORRES, C.M.M.E., SILVA, C.M., PEDROTI, L.G.; Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker. *J Mater Cycles Waste Manag*, v.22, p. 851-861, 2020.
- [7] HOOGMARTENS, R., EYCKMANS, J., PASSEL, S.V.; Landfill taxes and Enhanced Waste Management: Combining valuable practices with respect to future waste streams. **Waste Management**, v.55, p. 345-354, 2016.
- [8] KEOLEBOGILE, R., SEBOGOD, A.B., JOHAKIMU, J.K., SITHOLE, B.B.; Beneficiation of pulp mill waste green liquor dregs: Applications in treatment of acid mine drainage as new disposal solution in South Africa. **Journal of cleaner production**, v.246, p.118979, 2020.
- [9] MANSKINEN, K., NURMESNIEMI, H., PÖYKIÖ, R.; Total and extractable non-process elements in green liquor dregs from the chemical recovery circuit of a semichemical pulp mill. **Chem. Eng. J.**, v.166, p.954-961, 2011.
- [10] FARAGE, R.M.P., QUINA, M.J., GANDO, F.L.; Kraft pulp mill dregs and grits as permeable reactive barrier for removal of copper and sulfate in acid mine drainage. **Sci. Rep.**, v.10, p.4083, 2020.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- [12] ADESANYA, E.; One-part geopolymer cement from slag and pretreated paper sludge. **Journal of Cleaner Production**, v.185, p.168-175, 2018.

-
- [13] MARTÍNEZ, L.G., VELAY-LIZANCOS, M.; Concretes and mortars with waste paper industry: biomass ash and dregs. **J Environ Manag**, v.181, p.863-873, 2016.
- [14] RODRIGUES, L.R., SAGRILLO, V.P., DELLA & REIS, A.S.; Efeito das condições de queima na estabilização de um resíduo rico em CaCO₃ em massa argilosa. **Cerâmica**, v. 66, p. 379, 2020.
- [15] VSEVOLOD, M., CLEBER, L.P., DANIELA, E.P., MONICA, A.A., STEPHANIE, A.S.M., PAULO, H.B.R., ARGENTA, M.M., PONTE, M.J.J., GONÇALVES, A.J.; Efficient application of cellulose pulp and paper production wastes to produce sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 263, p.120604, 2020.
- [16] ZAMBRANO, M., PICHÚN, C.; Green liquor dregs effect on Kraft mill secondary sludge composting. **Bioresour Technol**, v.101, p.1028-1035, 2010.
- [17] WOLFF, E., SCHWABE, W.K., CONCEIÇÃO, S.V.; Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. **J Clean Prod**, v.96, p.282-289, 2015.
- [18] SANTOS, V.R., CABRELON, M.D., TRICHÊS, E., QUINTEIRO, E.; Green liquor dregs and slaker grits residues characterization of a pulp and paper mill for future application on ceramic products. **Journal of Cleaner Production**, v.240, p.118220, 2019.
- [19] PASANDÍN, A.R., PÉREZ, I., RÁMIREZ, A., CANO, M.M.; Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with paper industry wastes as filler. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.853-862, 2016.
- [20] NOVAIS, R.M., CARVALHEIRAS, J., SENFF, L., LABRINCHA, J.A.; Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment. **Construction and Building Materials**, v.184, p.464-472, 2018.
- [21] BITTENCOURT, N.L., BACARIN, G.B., PAIVA, F.F., DOGNANI, G., SANTOS, R.J., JOB, A.E., CABRERA, F.C.; Natural rubber composites reinforced with Dregs residue from cellulose Kraft industry. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, v.16, p.81-101, 2020.
- [22] SINGH, N.B., MIDDENDORF, B.; Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials**, v.53,p.57-77, 2007.
- [23] FÉJEAN, J., LANOS, C., MÉLINGE, Y., BAUX, C.; Behaviour of Fire-Proofing Materials Containing Gypsum, Modifications Induced by Incorporation of Inert Filler. **Chemical Engineering Research and Design**, v.81, p.1230-1236, 2003.

-
- [24] PRISCIANDARO, M., LANCIA, A., MUSMARRA, D.; CALCIUM SULFATE DIHYDRATE NUCLEATION IN THE PRESENCE OF CALCIUM AND SODIUM CHLORIDE SALTS. **INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH**, V.40, P.2335-2339, 2001.
- [25] CAMARINI, G., DE MILITO, J.A.; Gypsum-cement hemihydrate blends to improve renderings durability. **Construction and Building Materials**, v.25, p.4121-4125, 2011.
- [26] CAMARINI, G., LIMA, K.D.S., PINHEIRO, S.M.M.; Investigation on gypsum plaster waste recycling: an eco-friendly material. **Green Mater**, v.3, p. 104-112, 2015.
- [27] PAPAILIOPOULOU, N., GRIGOROPOULOU, H. & FOUNTI, M.; Energy Analysis of the Effects of High-Level Reincorporation of Post-consumer Recycled Gypsum in Plasterboard Manufacturing. **Waste Biomass Valor**, v.8, p. 1829-1839, 2017.
- [28] IUCOLANO, F., LIGUORI, B., APREA, P., CAPUTO, D.; Evaluation of biodegummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster. **Composites Part B**, v. 138, p. 149-156, 2018.
- [29] JIMÉNEZ-RIVERO, A., GARCÍA-NAVARRO, J. Indicators to Measure the Management Performance of End-of-Life Gypsum: From Deconstruction to Production of Recycled Gypsum. **Waste Biomass Valor**, v.7, p.913-927, 2016.
- [30] CONDEIXA, K., QUALHARINI, E., BOER, D., HADDAD, A.; An inquiry into the life cycle of systems of inner walls: comparison of masonry and drywall I. *Sustainability*, v.7, p. 7904-7925, 2016.
- [31] LI, Y., ZHOU, J., ZHU, T. ET AL.; Calcium Sulfite Oxidation and Crystal Growth in the Process of Calcium Carbide Residue to Produce Gypsum. **Waste Biomass Valor**, v.5, p. 125-131, 2014.
- [32] MEJÍA, J.M., GUTIÉRREZ, R.M., MONTES, C.; Rice husk ash and spent diatomaceous earth as a source of silica to fabricate a geopolymeric binary binder. **J. Clean. Prod.**, v.118, p.133-139, 2016.
- [33] GARG, M., JAIN, N.; Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials. **Constr. Build. Mater.**, v.24, p.1632- 1637, 2010.
- [34] TOLOSA, G.R., SOUZA, T.S.V., BACARIN, G.B., CABRERA, F.C., JOB, A.E.; Reuse of lime mud waste as filler in gypsum composites. **Proceedings of the Institute of Civil Engineers- Waste and Management**, v. 174, p.12-21, 2021.
- [35] KALIA, S., KAITH, B.S., KAUR, I.; Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites - a review. **Polym Eng Sci**, v.49, p. 1253-1272, 2009.
- [36] GURUNATHAN, T., MOHANTY, S., SANJAY, K.N.; A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibers and their application perspectives. **Compos Part A**, v. 77, p. 1-25, 2015.

-
- [37] AMADUCCI, S., GUSOVIUS, H.J.; Hemp-cultivation, extraction and processing. Industrial applications of natural fibres structure, properties and technical applications. Chic hester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd; p. 109–34, 2010.
- [38] BELAKROUM, R., GHERFI, A., KADJA, M., MAALOUF, C., LACHI, M., EL WAKIL, N., MAI, T.H.; Design and properties of a new sustainable construction material based on date palm fibers and lime. **Construction and Building Materials**, v. 184, p. 330-343, 2018.
- [39] MAGALLANES-RIVERA, R.X., ESCALANTE-GARCÍA, J.I., GOROKHOVSKY, A.; Hydration reactions and microstructural characteristics of hemihydrate with citri c and malic acid. **Constr Build Mater**, v. 3, p. 1298-1305, 2009.
- [40] BOISVERT, J.P., DOMENECH, M., FOISSY, A., PERSELLO, J., MUTIN, J.C.; Hydration of calcium sulphate hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) into gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The influence of the sodium poly(acrylate)/surface interaction and molecular weight. **J Cryst Growth**, v.220, p.579-591, 2000.
- [41] Vellmer, C., Middendorf, B., Singh, N.B.: Hydration of alfa-hemihydrate in the presence of carboxylic acids. **J Therm Anal Calorim**, v. 86, p. 721-726, 2006.
- [42] RIBEIRO, ALCÍDIO PINHEIRO. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose**. 2010. 141f. Tese de doutorado (Engenharia Metalurgia e de Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [43] SAMISTRARO, GISELY. **Propriedades Químicas e Físicas da Polpa e Papel Kraft Por Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)**. 2008. 115f. Dissertação de Mestrado (Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2008.
- [44] ALMEIDA, H. C.; SILVEIRA, C. B.; ERNANI, P. R.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs), **Química Nova**, v. 30, n.7, p. 1669-1672, 2007.
- [45] MENELI, J. C. **Gestão sistêmica dos processos industriais de uma fábrica de celulose**. 2013. 57p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 2013.
- [46] CABRAL, F.; RIBEIRO, H.; HILÁRIO, L.; MACHADO, L.; VASCONCELOS, E. Use of pulp mil inorganic waste as alternative liming materials. **Bioresource technology**, v. 99, p. 8294-8298, 2008.
- [47] ZAMBRANO, M.; PICHÚN, AVELAR, M., VILLARROEL, M; VELASQUEZ, I.; BAEZA, J.; VIDAL, G. Green liquor dregs effect on kraft mil secondary sluge composting. **Bioresource Technology**, v. 52, n. 101, p. 1028-1035, 2008.
- [48] TEEMU, K.; MOHAMMAD, G.; EEVA, J.; ANTTI, H. Separation, treatment and utilization of inorganic residues of chemical pulp mills. **Journal of Cleaner Production**, v.133, 2016.

-
- [49] MARTINS, F. M.; MARTINS, J. M.; FERRACIN, Z. C.; CUNHA, C. J. Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of kraft pulp and paper mill. **Science Direct**, v. 147, p. 610-617, 2007.
- [50] Kinnarinen, T.; Golmaei, M.; Jernström, E.; Häkkinen, A. Separation, treatment and utilization of inorganic residues of chemical pulp mills, **Journal of Cleaner Production**, v.133, p. 953-964, 2016.
- [51] FOELKEL C. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto – Parte 05: Resíduos Minerais. In: Eucalyptus Online Book & Newsletter. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 173p. 2011.
- [52] GU, Y.; EDWARDS, L. Prediction of metals distribution in mill process, part 3 of 3: NPE management in kraft chemical recovery. **TAPPI Journal**, v. 3, p. 9–15, 2004.
- [53] Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos sólidos e dá outras providências. Disponível em <<https://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em 14 de agosto de 2019.
- [54] WOLFF, ELIANE. **O uso do lodo de estação de tratamento de água e resíduos da indústria de celulose (dregs, grits e lama de cal) na produção de cerâmica vermelha**. 183f. Tese de Doutorado (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.
- [55] OLIVA, F. L., et al.; Desenvolvimento Sustentável: análise das relações interorganizacionais na indústria de celulose e papel. **Ambient. soc.**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 70-92, 2012 .
- [56] SIMAO, L. et al . Wastes from pulp and paper mills - a review of generation and recycling alternatives. **Cerâmica**, v. 64, n. 371, p. 443-453, 2018.
- [57] HASSANI, A.; GANJIDOUST, H.; MAGHANAKI, A. A. Use of plastic waste (polyethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. **J. of waste Management and Research**, v. 23, p. 322-327, 2005.
- [58] GEMELLI, E.; CAMARGO, N., H., A.; BRESCANSIN, J. Evaluation of paper Industry waste in Construction Materials Applications. **Journal of Materials Research**, p. 297-304, 2001.
- [59] PASANDÍN, A.; PÉREZ, I.; RAMÍREZ, A.; CANO, M.M. Moisture damage resistance of hot-mix asphalt made with paper industry wastes as filler. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 853-862, 2016.
- [60] MODOLO, R.A., BENTA, B. A., FERREIRA, A.V.M., MACHADO, L.M. Pulp and paper plant wastes valorization in bituminous mixes. **Waste Management**, v.30, p. 685-696, 2010.
- [61] LAGE, I. M.; LIZANCOS, M. V.; BURGO, P. V.; FERNÁNDEZ, M. R.; HERRERO, C. V.; RODRÍGUES, A. R.; CANO, M. M. Concretes and mortars with waste paper industry: Biomass ash and dregs, **Journal of Environmental Manangement**, v. 181, p. 863-873, 2016.

-
- [62] MARQUES, M. L.; SILVA, E.J.; VELASCO, F. G.; FORNARI, C. C. M. Potencialidades do uso de resíduos da celulose (dregs/grits) como agregado em argamassa. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 423-431, 2014.
- [63] Zanella, B.P., E.B. Sá, N.O. Acorinti, I.C.B. Trannin and S.J.C. Simões, Durability of mixed mortar linig containing drgs-grits. **American Journal of Environmental Science** 10 (1): 44-47, 2014 ISSN: 1553-345X
- [64] RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & CAMARGO, M.S. R. **Bras. Ci. Solo**, V. 30, 849-857, 2006.
- [65] PÉRTILE, P. **Resíduo alcalino da indústria de celulose em solos ácidos e área degradada**, 2011, 107f. Programa de pós-graduação em Ciências Agrárias, Mestrado em Manejo de Solo; Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, Santa Catarina, 2011.
- [66] ERBS, A. et al. (Determination of physical and mechanical properties of recycled gypsum from the plasterboard sheets). **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 360, p. 482-487, Dec. 2015.
- [67] **GERALDO, R. H. et al., Pressured recycled gypsum plaster and wastes: Characteristics of eco-friendly building components. Construction and Building Materials, v.191, p.136-144, 2018.**
- [68] BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V. P. Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno. **Ambiente Construído**, v. 11, p. 189-199, 2011.
- [69] BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Sumário Mineral Brasileiro de 2017. Brasil: DNPM, 2017. Disponível em <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2017>>. Acesso em: 30 de ago de 2019.
- [70] PIRES SOBRINHO, C. W. Influência da adição de Resíduo de Gesso nas Propriedades Mecânicas das Pastas para revestimento. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL; SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1, 2009. Anais Feira de Santana, 2009.
- [71] ERBS, A. et al . Determination of physical and mechanical properties of recycled gypsum from the plasterboard sheets. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 360, p. 482-487, 2015.
- [72] BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E MORFOLÓGICA DO GESSO B OBTIDO DO PÓLO DO ARARIPE. **Cerâmica**, V.60, P. 501-508, 2014.

-
- [73] KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas de gesso de alto desempenho**, 2019. 132f. Tese Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de S. Paulo, S. Carlos, SP, 2009.
- [74] Borrachero, M.V.; Paya, J.; Bonilla, M.; Monzo, J. The use of thermogravimetric analysis technique for the characterization of construction materials. **J. Therm. Anal. Calorim**, v. 91, n.2, p. 503-509, 2008.
- [75] MEDEIROS, M. S.; HURLADO-GUERREIRO, J. C.; SILVA, L. G. A. Health in the contexto of the gypsum production área of the city of Araripina, State of Pernambuco, Brasil. **Saude Soc.** São Paulo, v. 19, n. 2, p. 358-370, 2010.
- [76] MELO, K.; LIMA, A.; SANTANA, M.; ANDRADE, V.; BRAGA, A.; CORREIA, K. Caracterização química e mineralógica dos resíduos de mineração de gipsita no semiárido Pernambucano. **Holus**, v. 33, n.6, p. 194-200, 2017.
- [77] LARUCCIA, M. M.; Sustentabilidade e Impactos ambientais da construção civil. **Revista Eniac**, v. 3, n. 1, p. 68-84, 2014.
- [78] ARAUJO, S. M. S.; MARTINS, L. A. M. A indústria extrativa mineral do pólo gesseiro do Araripe e seus impactos sócio-ambientais. **Revista de geografia (UFPE)**, v. 25, n. 1, p. 91-112, 2012.
- [79] Gartner, E.M. Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions e the case of gypsum plasters. **Cem. Concr**, v.39, p. 289-295, 2009.
- [80] FERREIRA, FERNANDA CAVALCANTI; **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**, 2017, 200f. Dissertações de Mestrado - Engenharia Civil UFPE , Recife, 2017.
- [81] SCHMITZ, I. B. T. A.; TAVARES, Y. V. P.: Estudo do desempenho da pasta de gesso com adição de seu resíduo como revestimento interno de paredes. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais**. Curitiba, 2009.
- [82] CLIFTON, J. R. **Some aspects of the setting and hardening of gypsum plaster**. NBS Technical Note 755, 1973.
- [83] ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; ANDRADE, A. C. Produtividade dos Revestimentos de Gesso: influência das propriedades do material. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO, 1., 1999, Recife. **Anais**. Recife: ANTAC, 1999.
- [84] DAI, D.; FAN, M. Prepararion of bio-composite from wood sawdust and gypsum. **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 417-424, 2015.
- [85] YU, Q.L.; BROUWERS, H.J.H.; Microstructure and mechanical properties of b-hemihydrate produced gypsum: an insight from its hydration process. **Constr. Build. Mater**, v.25, p. 3149-3157, 2011.
- [86] DAI, D., FAN, M.; Prepararion of bio-composite from wood sawdust and gypsum, **Industrial Crops and Products**, v. 75, p. 417-424, 2015.

-
- [87] GONZÁLEZ, S. G.; RODRÍGUEZ, J. G. A.; CALDERÓN, J. V. Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. **Construction and Building Materials**, v. 28, p. 653-658, 2012.
- [88] BARRIGUETE, A, V.; SÁNCHEZ, E, A.; MERINO, M, D R.; RAMÍREZ, C, P. Analysis of the improved water-resistant properties of plaster compounds with the addition of plastic waste, **Construction and Building Materials**, v.230, 2020.
- [89] MERINO, M,R.; ASTORQUI, J,S,C.; SÁEZ, P,V.; JIMÉNEZ, R.S.; CORTINA, M, G. Eco plaster mortars with addition of waste for high hardness coatings, **Construction and Building Materials**, v.158, 2018
- [90] KHALIL, A, A.; TAWFIK, A.; HEGAZY, A., EL-SHAHAT, M,F. Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites, **Construction and Building Materials**, v.68, 2014
- [91] Souza, S.V.M.; **Produção de emplastro de gesso com substituição parcial do resíduo grits proveniente da indústria de celulose**, 2020, 54f, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciências dos Materiais – POSMAT/ UNESP, Presidente Prudente, 2020.
- [92] THYGESEN A, LIU M, MEYER AS, DANIEL G. Hemp fibres: enzymatic effect of microbial processing on fibre bundle structure. **Riso international symposium on materials science. Proceedings**, v. 34, p. 373–80, 2013.
- [93] LI, Y. & PICKERING, K.L. Hemp fibre reinforced composites using chelator and enzyme treatments. **Composites Science and Technology**, v. 68, p.3293-3298, 2008.
- [94] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128. **Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2019.
- [95] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: **Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó**. Rio de Janeiro, 2019. 6p.
- [96] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA, NBR 13279 **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- [97] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA, NBR 12129. **Gesso para construção civil — Determinação das propriedades mecânicas**. Rio de Janeiro, 1991.
- [98] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

-
- [99] ASTM C472-99: **Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete**. ASTM American Society for Testing and Materials, 2014.
- [100] ASTM C28: **Standard Specification for Gypsum Plasters**. ASTM American Society for Testing and Materials, 2015.
- [101] ASTM C518 – 17. **Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus**. ASTM American Society for Testing and Materials, 2017.
- [102] ASTM C1363 – 19. **Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus**. ASTM American Society for Testing and Materials, 2019.
- [103] BURUBERRI, L.H.; SEABRA, M.P.; LABRINCHA, JÁ; Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. **J Hazard Mater**, v.286, p. 252– 260, 2015.
- [104] PUNTERVOLD, T.; AUSTAD, T.; Injection of seawater and mixtures with produced water into North Sea chalk formation: Impact of fluid–rock interactions on wettability and scale formation. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v.63, p.23-33.
- [105] DONER, H.E.; PRATT, P.F.; Solubility of Calcium Carbonate Precipitated in Aqueous Solutions of Magnesium and Sulfate Salts. **Soil science society of America journal** v.33, p. 690-69, 1969.
- [106] ZHANG, P.; TWEHEYO, M.T.; AUSTAD, T.; Wettability Alteration and Improved Oil Recovery in Chalk: The Effect of Calcium in the Presence of Sulfate. **Energy & Fuels**, v. 20, p.2056-2062, 2006.
- [107] CASTRO, F.; VILARINHO, C.; TRANCOSO, D.; FERREIRA, P.; NUNES, F.; Utilization of pulp and paper industry wastes as raw materials in cement clinker production. **Int. J. Mater. Eng. Innov.**, v 1, p 74-90, 2009.
- [108] MARTINS, F.M.; MARTINS, J.M.; FERRACIN, L.C.; CUNHA, C.J.; Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a Kraft pulp and paper mill. **J. Hazard Mater.**, v. 147, p. 610-617, 2007.
- [109] MANDAL, P.K.; MANDAL, T.K.; Anion water in gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and hemihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). **Cem Concr Res**, v. 32, p.313–316, 2002.
- [110] ANBALAGAN, G.; MUKUNDAKUMARI, S.; MURUGESAN, K.S.; GUNASEKARAN, S.; Infrared, optical absorption and EPR spectroscopic studies on natural gypsum. **Vibrational Spectroscopy**, v.50, p. 226–230, 2009.
- [111] Adler HH, Kerr PF (1965) **Variations in infrared spectra, molecular symmetry and site symmetry of sulfate minerals**. *Am. Miner* 50:132-147
- [112] COOPER, C.D.; MUSTARD, J.F.; Spectroscopy of Loose and Cemented Sulfate-Bearing Soils: Implications for Duricrust on Mars. **Icarus**, v.158, p.42-55, 2002.

-
- [113] COATES, J.; Interpretation of infrared spectra – a practical approach. Encyclopedia of analytical chemistry. John Wiley & Sons Ltd. 10815–37, 2006.
- [114] VAGENAS, N.V.; GATSOULI, A., KONTOYANNIS, C.G.; Quantitative analysis of synthetic calcium carbonate polymorphs using FT-IR spectroscopy, **Talanta** v.59, p.831–836, 2006.
- [115] TREZZA, M.A.; LAVAT, A.E.; Analysis of the system $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\text{--CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O--CaCO}_3\text{--H}_2\text{O}$ by FTIR spectroscopy, **Cem. Concr. Res.**, v. 31, p.869–872, 2001.
- [116] LEGODI, M.A.; DE WAAL, D.; POTGIETER, J.H.; Quantitative determination of CaCO_3 in cement blends by FT-IR. **Appl. Spectrosc.**, v.55, p. 361-365, 2001.
- [117] YLMEN, R., JAGLID, U.; Carbonation of Portland Cement Studied by Diffuse Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **International Journal of Concrete Structure and Materials**, v.7, p. 119-125, 2013.
- [118] MOLLAH, M.Y.A.; SCHENNACH, W.Y.R.; COCKE, D.L.; A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate, **Cem. Concr. Res.**, v. 30, p. 267-273, 2000.
- [119] MOLLAH, M.Y.A.; KESMEZ, M.; COCKE, D.L.; An X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopic (FT-IR) investigation of the long-term effect on the solidification/ stabilization (S/S) of arsenic (V) in Portland cement type-V. **Sci. Total Environ.**, v.325, p. 255–264, 2004.
- [120] YAMAGUCHI, T.; JIN, T.; TANABE, K.; Structure of acid sites on sulfur-promoted iron oxide. **The Journal of Physical Chemistry**, v.90, p.3148-3152, 1986.
- [121] ALMEIDA, L.S., CORREA, S.J., MARTINS, C.R., ANDRADE, J.B. (1998) Sulfitos duplos contendo cobre (I) e um metal de transição M(II) tipo $\text{Cu}_2\text{SO}_3\cdot\text{M(II)SO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [M(II) = Cu(II), Fe(II), Mn(II) e Cd(II)]: preparação e seletividade na incorporação de M(II). *Química Nova*, 21:151-156. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000200009>
- [122] BASPINAR, S.M.; KAHRAMAN, E.; Modifications in the properties of gypsum construction element via addition of expanded macroporous silica granules. **Construction and Building Materials**, v.25, p. 3327-3333, 2011.
- [123] CARVALHO, M.A., CALIL JÚNIOR, C., SAVASTANO, JUNIOR H., TUBINO, R., CARVALHO, M.T.: Microstructure and mechanical properties of gypsum composites reinforced with recycled cellulose pulp. **Materials Research**, v.11, 2008.
- [124] KHALIL, A.A.; TAWFIK, A.; HEGAZT, A.A.; EL-SHAHAT, M.F. Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 580-586, 2014.
- [125] GERALDO, R. H.; SOUZA, J.D.; CAMPOS, S. C.; FERNANDES, L. F. R.; CAMARINI, G. Pressured recycled gypsum plaster and wastes: Characteristics of eco-friendly building components. **Construction and Building Materials**, v. 191, p. 136-144, 2018.

-
- [126] ERSEN, A.; SMITH, A.; CHOTARD, T.; Effect of malic and citric acid on the crystallization of gypsum investigated by coupled acoustic emission and electrical conductivity techniques. **J Mater Sci**, v.41, p.7210-7217, 2006.
- [127] LANZÓN, M.; GARCÍA-RUIZ, P.A.; Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters. **Construction and Building Materials**, v.28, p.506-511, 2012.
- [128] CHUAH, S.; DUAN, W.H.; PAN, Z.; HUNTER, E.; KORAYEM, A.H.; ZHAO, X.L.; COLLINS, F.; SANJAYAN, J.G.; The properties of fly ash based geopolymer mortars made with dune sand. **Materials and Desing**, v.92, p. 571-578, 2015.
- [129] JIANQUAN, L.; GUOZHONG, L.; YANZHEN, Y.; The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth. **Mater. Lett.**, v.61, p. 872-876, 2007.
- [130] COLOMBANI, J.; BERT, J.; Holographic interferometry study of the dissolution and diffusion of gypsum in water, **Geochim. Cosmochim. Acta**, v.71, p.1913- 1920, 2007.
- [131] HUANG, Y.; XU, C.; LI, H.; Utilization of the black tea powder as multifunctional admixture for the hemihydrate gypsum. **Journal of Cleaner Production**, v.210, p.231-237, 2019.
- [132] FINOT, E.; LESNIEWSKA, E.; JEAN-PIERRE, G.; MUTIN, J.C.; Correlation between surface forces and surface reactivity in the setting of plaster by atomic force microscopy. **Applied Surface Science**, v.161, p.316-322, 2000.
- [133] SOPHIA, M.; SAKTHIESWARAN, N.;Waste shell powders as valuable bio- filler in gypsum plaster – Efficient waste management technique by effective utilization', **Journal of Cleaner Production**, v.220, p. 74-86, 2019.
- [134] RUIQUAN, J.; QIANG, W.; PENG, F.; A comprehensive overview of fibre-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field. **Composites Part B: Engineering**, v. 205, p.108540, 2021.
- [135] MACEDO, N.; CABRAL, M.; Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares. **HOLOS**, v. 5, p. 95-105, 2011.
- [136] BEZERRA, L. A. C.; **Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto com EPS como Agregado Graúdo**. 2003, 64f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/UFRN, Natal –RN, 2003.
- [137] LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. Eficiência energética na arquitetura São Paulo:P.W.; 192, 1997.
- [138] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.
- [139] OZISIK, M. N. Transferência de calor, um texto básico. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1990,p.634.

[140] MARINHO, G. S.; CUNHA, P. W. S.; GOMES, U. U.; Propriedades termofísicas de compósitos de matriz de gesso e fibra vegetal; **HOLOS**, v. 1, p. 127-138, 2013.

[141] AYMEN, B.; MUSTAPHA, K.; ALI A.; LAURENT I.; SASSI, B. N.; Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building, **Energy and Buildings**, , v. 140, p. 268-279, 2017.