Cement Portland production with dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to clinker

TORRES, C. M. M. E. [a], SILVA, C. M. [a*], PEDROTI, L. G. [b], FERNANDES, W. E. H. [b], BALLOTIN, F. C [c], ZANUNCIO, J. C. [d].

a. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900 Viçosa, Minas Gerais, Brazil

b. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900 Viçosa, Minas Gerais, Brazil

c. Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, 31270-901 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

d. Departamento de Entomologia/BIOAGRO, Universidade Federal de Viçosa, 36570-900 Viçosa, Minas Gerais, Brazil

**mudado@ufv.br*

Resumo

A indústria de polpa celulósica kraft no Brasil vêm se expandindo e isto tem gerado a preocupação com o aumento da geração e disposição final dos resíduos sólidos. O objetivo desta pesquisa foi estudar a viabilidade técnica da produção de cimento com a incorporação de resíduos sólidos alcalinos denominados *dregs* e *grits*, normalmente encaminhados a aterros industriais, ao clínquer em diferentes proporções. A metodologia inclui as seguintes etapas: i) caracterização física e química dos resíduos e do clínquer; ii) preparação de amostras utilizando diferentes misturas de substituições (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 15 %) de *dregs* e *grits* in natura no clínquer; e iii) ensaios laboratoriais (expansibilidade *Le Chatelier*, tempos de pega, determinação da pasta de consistência normal, resistência a compressão e módulo estático de elasticidade). Os resíduos *dregs* e *grits* podem ser adicionados em 10% ao cliquer na produção de cimento.

Palavras-chave: Clínquer, Dregs; Grits; Gestão de resíduos; Polpa celulósica kraft

1. Introdução

Fábricas de polpa celulósica kraft branqueada estão em rápida expansão no Brasil ocupando o terceiro lugar entre os produtores mundiais, com 18,77 milhões de toneladas anuais em 2016. Esta produção deve ultrapassar, em 2017, 19 milhões de toneladas passando a segunda posição no ranking mundial (IBÁ, 2017).

O crescimento da produção de celulose aumenta a geração de resíduos sólidos que devem ser tratados, adequadamente e, quando não reaproveitados, dispostos em um local ambientalmente apropriado. Além disso, a reutilização e reciclagem desses resíduos são, altamente, recomendados

quando possível (MONTE et al., 2009; KINNARINEN et al., 2016).

Resíduos da produção da polpa celulósica kraft se originam nas estações de tratamento de água e efluentes, no pátio de madeiras, no ciclo de recuperação química do licor, na caldeira de biomassa, entre outros. Resíduos da produção de polpa celulósica, em sua grande maioria, são classificados como de Classe II-A, ou seja, *não perigosos* e *não inertes* (U.S. EPA, 2000; ABNT, 2004; IPPC, 2015).

Dregs e *grits* estão entre os principais resíduos sólidos gerados nos processos de caustificação e calcinação de polpação kraft. Os *dregs*, provenientes da clarificação do licor verde, são impurezas oriundas, principalmente, do carbono, hidróxidos e sulfetos de metais com pH em torno de 11 com geração de até 15 $kg.adt^{-1}$ de polpa produzida. Os *grits* são originados no apagamento da cal e compostos por cal não reagida (não calcinada) sedimentada no fundo do apagador e removidos com raspador ou parafuso de Arquimedes. A geração de *grits* é de, aproximadamente 5 $kg.adt^{-1}$ de polpa produzida. Esses resíduos são alcalinos e, normalmente, dispostos em aterros industriais (BIERMANN, 1993; GAVRILESCU, 2004; KRIGSTIN & SAIN, 2006 and BAJPAI, 2015). O Brasil, em 2016, gerou aproximadamente 282 mil toneladas de *dregs* e 94 mil toneladas de *grits* (SANCHEZ & TRAN, 2005; IPPC, 2015 and IBÁ, 2017).

As características físico-químicas dos *dregs* e dos *grits*, tem alta proporção de carbonato de cálcio e, por isto, potencial para serem misturados ao clínquer (CASTRO et al., 2009 and BURUBERRI, et al., 2015) para cimento (SIQUEIRA & HOLANDA, 2013, SEYYEDALIPOUR et al., 2014 and MARTÍNEZ-LAGE et al, 2016) e como agregado do concreto (SEYYEDALIPOUR et al., 2014).

A produção de cimento consome, relativamente, altos volumes de matérias-primas como materiais calcários, argilosos e gesso. O processo Portland, o mais comum, consiste em moer as matérias-primas, misturá-las nas proporções adequadas e queimar essa mistura em fornos rotativos a temperatura de cerca de 1450 ºC para a fabricação de cimento. Esses materiais são fundidos formando pelotas de um material sinterizado com 5 a 25 mm de diâmetro, denominado clínquer (MEHTA & MONTEIRO, 2006 and ISAIA, 2010).

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos sólidos alcalinos denominados *dregs* e *grits*, gerados no setor de recuperação do licor das fábricas de polpa celulósica kraft, como matéria prima na substituição parcial (2,5; 5; 7,5; 10 e 15%) do clínquer para a produção de cimento Portland.

2. Material e Metodologia

Os *dregs* e *grits in natura* foram adquiridos de uma empresa de polpa celulósica kraft branqueada e armazenados em *big bags* de materiais reciclados. O clínquer foi obtido de uma empresa cimenteira brasileira e armazenado em bobonas de plástico para evitar contaminações. Estes materiais foram ensaiados em laboratórios da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O fluxograma esquemático do plano experimental mostra que, inicialmente, os materiais *in natura dregs* e *grits* foram submetidos a secagem em estufa a 100ºC durante 24 horas, moídos em um moinho de bolas, Pavitest. Em seguida, os materiais foram desagregados no pulverizador Pulverisette 14 Fritch e macerados até poderem passar por peneira 75 µm (nº 200). O clínquer foi moído e macerado até passar por peneira 75 µm (nº 200) (Fig. 1).

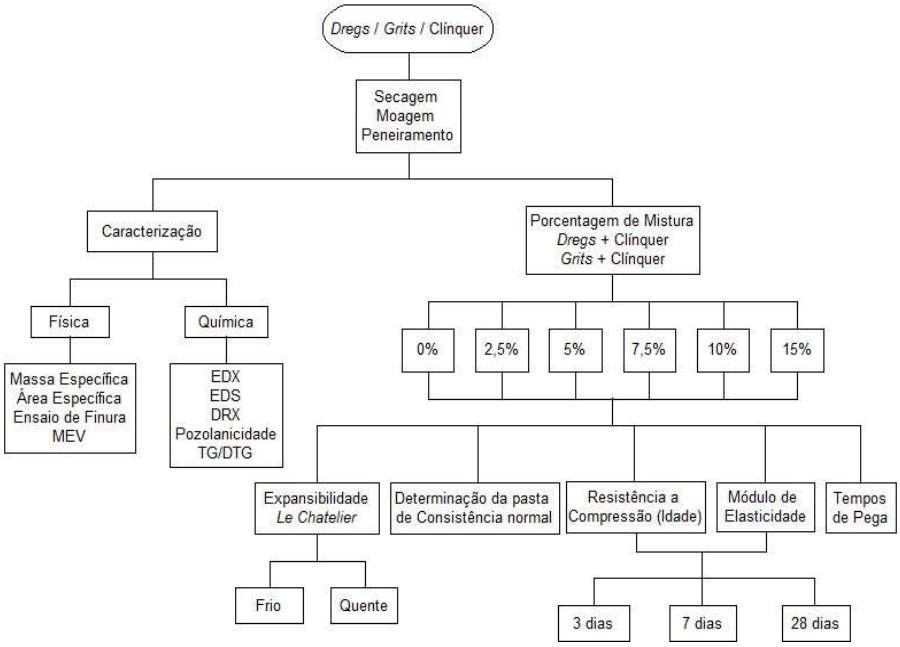

Fig. 1. Fluxograma esquemático do plano experimental para testar o uso de *dregs* e *grits* em mistura com clínquer para produção de cimento.

A caracterização física, mineralógica, microestrutural e química dos *dregs*, *grits* e clínquer foi determinada em ensaios de massa e área específica, finura, difração de raios X – DRX, microscopia eletrônica de varredura – MEV/EDS, atividade pozolânica e análises termogravimétricas – TG/DTG.

Os ensaios de MEV/EDS, EDX, DRX, pozolanicidade e TG/DTG foram realizados com os materiais in natura (clínquer, *dregs* e *grits*) e os de massa e área específica, finura, DRX, MEV/EDS, e EDX com os materiais in natura e nas substituições mais relevante na mistura dos *dregs* e *grits* ao clínquer. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras vigentes.

As amostras foram metalizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV, no equipamento – Metalizador Quorum Q150R S. As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas com microscópio FIB (para análise de varredura) – quanta FEG 3D FEI com o sistema de detecção de dispersão de energias e raios X (EDS). Essas análises foram feitas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV em Microscópio Eletrônico de Varredura Leo 1430VP.

As análises de EDX, foram realizadas no espectrômetro de fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (micro EDX 1300 Shimadzu).

Os estudos de difração de Raios X (DRX) foram realizados com difratômetro Bruker D8-Discover, modelo Davinci com CuKα (1,5406 Å) com um intervalo de 2θ de 20 a 100° com velocidade de varredura de 4°. min $^{-1}$.

O ensaio de atividade pozolânica (pozolanicidade) (Luxan et al., 1989), consistiu em medir a pozolanicidade por variação de condutividade de uma solução saturada de hidróxido de cálcio Ca(OH) com e sem adição do material a ser analisado.

As análises termogravimétricas (TG/DTG) foram realizadas em equipamento Shimadzu DTG 60H com fluxo de ar sintético (50 mL min^{-1}) na faixa de temperatura de 30-1000°C e razão de aquecimento 10°C min^{-1} com massas de amostras de, aproximadamente, 6 mg.

O ensaio de massa especifica foi realizado conforme a norma ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó para determinação da massa específica (ABNT, 2001). O ensaio de área específica foi realizado no permeabilímetro de Blaine de acordo com a norma ABNT NBR 16.372 –

Cimento Portland – determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (ABNT, 2015).

O índice de finura do cimento Portland foi determinado conforme a norma ABNT NBR 11579:2012 versão corrigida:2013 – Cimento Portland – determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) (ABNT, 2013).

A quantidade de água para a pasta de consistência normal foi determinada conforme a norma ABNT NBR NM 43 – Cimento Portland – determinação da pasta de consistência normal (ABNT, 2003).

O tempos de pega foi determinado em ensaio segundo a norma ABNT NBR NM 65 – Cimento Portland – determinação do tempo de pega (ABNT, 2003).

O ensaio expansibilidade *Le Chatelier* foi realizado conforme a norma ABNT NBR 11.582 – Cimento Portland – determinação da expansibilidade de *Le Chatelier* (ABNT, 2012).

A resistência à compressão do cimento Portland foi determinado conforme a norma ABNT NBR 7.215 – Cimento Portland – determinação da resistência à compressão (ABNT, 1991).

O módulo estático de elasticidade à compressão foi determinada conforme a norma ABNT NBR 8522 – Concreto – determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008).

Doze corpos de prova (5 cm de diâmetro por 10 cm de comprimento) (Fig. 2) foram produzidos para cada traço de material carbonático ao clínquer (substituições de 2,5; 5; 7,5; 10 e 15%) e um traço (CPo - 0) como referência, sem quaisquer materiais estudados, totalizando 132 corpos de prova confeccionados (Tabela 1) (ABNT NBR 5,738; 2016). Esses corpos de prova foram produzidos para os ensaios de determinação resistência a compressão e de módulo estático de elasticidade à compressão.

Tabela 1. Dosagem de materiais no clínquer experimental para determinação da resistência a compressão (Resist. Comp.) e do módulo de elasticidade (Mód. Elast.)

Amostras	Serie	Traço (%)		Quantidade de corpos de provas	
		Clínquer	Substituições	Resist. Comp.	Mód. Elast.
	CPo - 0	100	0	12	9
Dregs	CPd - 2,5	97,5	2,5	12	9
	CPd - 5,0	95,0	5,0	12	9
	CPd - 7,5	92,5	7,5	12	9
	CPd - 10,0	90,0	10,0	12	9
	CPd - 15,0	85,0	15,0	12	9
Grits	CPg - 2,5	97,5	2,5	12	9
	CPg - 5,0	95,0	5,0	12	9
	CPg - 7,5	92,5	7,5	12	9
	CPg - 10,0	90,0	10,0	12	9
	CPg - 15,0	85,0	15,0	12	9
Total				132	99

(a) (b)

Fig. 2. Corpos de prova de50 mm (a) e 100 mm (b) de comprimento.

Os corpos de prova confeccionados foram capeados com enxofre e submetidos ao ensaio de resistência à compressão conforme a norma ABNT NBR 5.739 – concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007) e rompidos aos três, sete e vinte oito dias do início de experimento. Os ensaios à compressão foram realizados com quatro corpos de prova por idade e traço. Uma célula de carga Trd 30 foi escolhida para confecção e leitura, com o software da Tesc dos dados ensaiados. Uma taxa de 0,5MPa/s de carregamento foi aplicada em máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL600KN (Fig. 3a).

O ensaio de módulo de elasticidade dos corpos de prova foi iniciado após a avaliação de um corpo de prova de mesma idade e traço, para se estimar a resistência à compressão. Três corpos de prova foram ensaiados para o módulo de elasticidade quanto a resistência à compressão por idade (três, sete e vinte oito dias) e traços, previamente, estabelecidos.

Uma célula de carga Trd 30 no *software* da Tesc foi escolhida para a confecção e leitura dos dados ensaiados com taxa de 0,5MPa/s de carregamento em máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL600KN. Os corpos de prova sofreram durante a execução do ensaio três ciclos de carga e descarga com a tensão do patamar inferior ou igual a 0,5MPa e superior igual a 30% da tensão de ruptura prevista. As deformações foram medidas em leituras com *clip gage* modelo Trd11 (Fig. 3b). O programa calculou a resistência a compressão e o módulo de elasticidade dos corpos de prova a partir dos dados informados (diâmetro médio e ruptura prevista).

(a) (b)

Fig. 3. Máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL600KN, para determinação da resistência à compressão e (a) do módulo estático de elasticidade à compressão (b).

Os dados da resistência à compressão e do módulo de elasticidade das substituições (2,5; 5; 7,5; 10 e 15%) de *dregs* e *grits* ao clínquer e a referência (100% clínquer) foram submetidos a análise de variância – ANOVA. Diferenças significativas entre tratamentos foram comparados com o teste Tukey a 5% de significância.

3. Resultados e Discussão

A amostra de clínquer foi caracterizada por MEV com imagens (Fig. 4a e 4b), sugerindo ser o material homogêneo e com superfícies regulares, com grãos arredondados (C_3S) em placas similares a um hexágono (C_2S) (NETTLESHIP et al., 1992, MEHTA & MONTEIRO, 2006)

A quantidade de grãos arredondados na amostra foi determinada com imagem com magnificação de 1.000x (Fig. 4a). Um grão com placas retilíneas e similares a um hexágono foi observado com magnificação de 2.000x (Fig. 4b), Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos *dregs* e *grits*, respectivamente, mostraram partículas com dimensões menores que as do clínquer com grãos arredondados ricos em Ca.

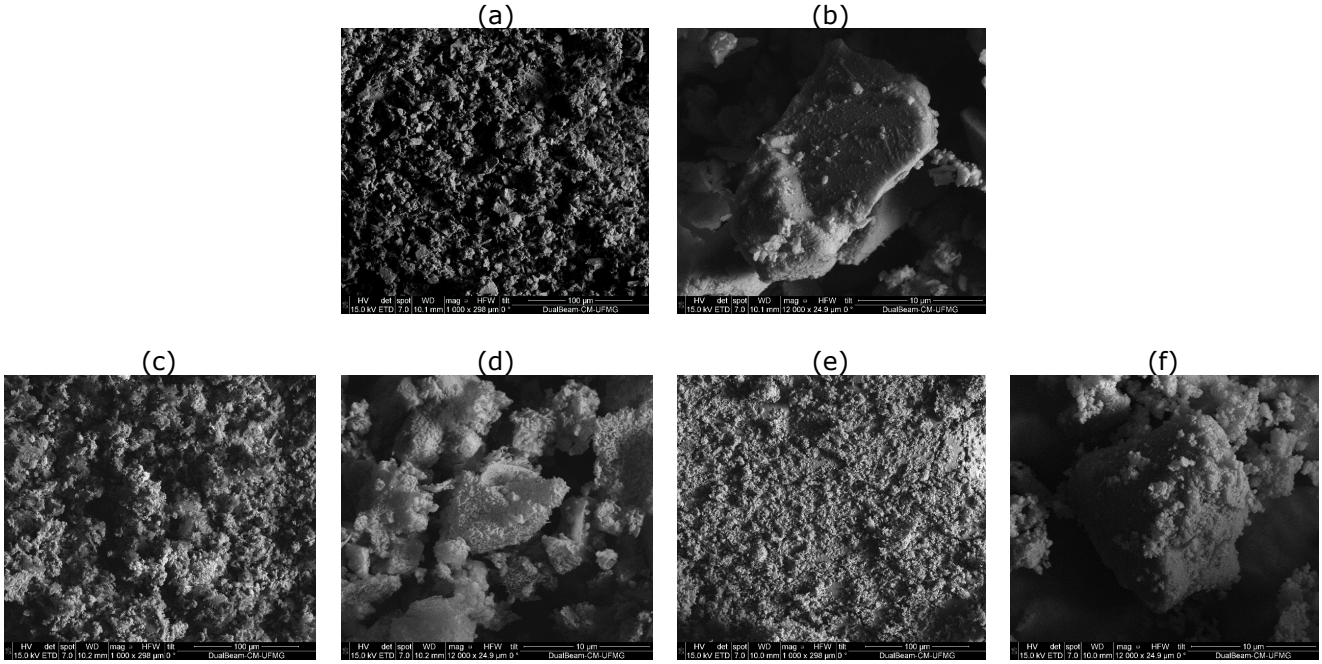

Fig. 4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura do clínquer em pó magnificação de 1.000x (a) 2.000x (b). *Dregs* em pó 1.000x (c) 2.000x (d). *Grits* em pó 1.000x (e) 2.000x (f).

A análise EDS das três amostras (Fig. 5) mostrou a presença de Na, Mg, Ca, Si, C e O com maior teor de C e Na nos *dregs*. Isto corrobora a análise EDX, possivelmente, devido a queima do licor negro na saída da caldeira e da adição de reagentes oxidantes de Na (NaOH e Na_2S^-), no processo de separação da celulose (polpação kraft), respectivamente. O teor de cálcio nos *grits* é maior que nos outros dois materiais, devido à adição de CaO, durante a etapa do processo calcinação (BIERMANN, 1993; GAVRILESCU, 2004; KRIGSTIN & SAIN, 2006 e BAJPAI, 2015).

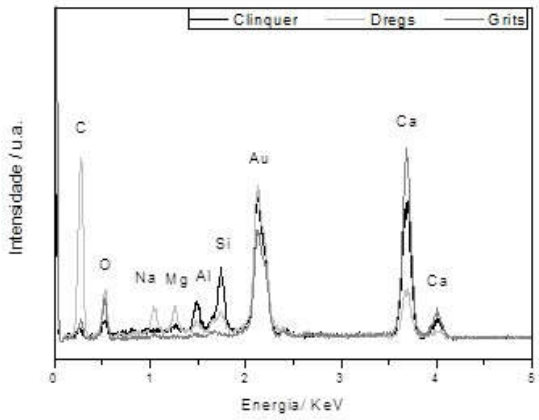

Fig. 5. EDS do clínquer, *dregs* e *grits*.

A análise EDX (Tabela 2) mostra a composição química dos clínquer, *dregs* e *grits*, expressa em óxidos. Os materiais apresentaram elevado teor de óxido de cálcio (CaO). Esse teor influenciou características como o aumento de suas propriedades mecânicas. Por outro lado, sua elevada concentração prejudica a estabilidade de volume das argamassas e concretos, atuando como expansivo (PETRUCCI & PAULON, 1998; MEHTA & MONTEIRO, 2008, MACHADO et al., 2002).

Os *dregs* apresentaram concentração de óxidos de enxofre (SO_3) e magnésio (MgO) maior que as dos *grits* (Tabela 2), o que pode conferir elevada expansibilidade ao cimento. Esse fenômeno só pode ser observado após os ensaios de 28 dias de resistência dos materiais (Petrucci & Paulon 1998).

Óxidos de ferro (Fe_2O_3) e álcalis (K_2O– Na_2O), utilizados como fundentes, foram também, encontrados em maiores concentrações nos *dregs* que nos *grits*. O Fe_2O_3, em porcentagens não elevadas, auxilia a conversão da sílica em silicato e os álcalis aceleram a pega, podendo substituir o gesso ($CaSO_4$) no processo industrial (PETRUCCI & PAULON, 1998; MEHTA & MONTEIRO, 2008 e POGGIALI, 2010).

Tabela 2. Análise EDX do clínquer, *dregs* e *grits*

	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	Cl	Outros
Clínquer (%)	64,55	20,65	3,02	3,23	1,00	0,33	1,47	1,71	0,27	0,07	3,72
Dregs (%)	68,85	6,67	0,74	3,27	6,44	3,14	0,91	3,64	0,18	0,39	5,78
Grits (%)	83,36	5,21	0,29	1,16	0,97	0,66	0,50	2,77	0,08	0,27	4,73

Os difratogramas de raios-X do clinquer (Fig. 6a) mostraram as fases de silicato tricálcico ($3CaO\ SIO_2$) abreviação C_3S; silicato dicálcico ($2CaO\ SIO_2$) abreviação C_2S; Aluminato tricálcico ($3CaO\ Al_2O_3$) abreviação C_3A; e ferro aluminato, tetracálcico ($4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$) abreviação C4AF como as principais fases cristalinas identificadas em suas estruturas. Esses resultados são semelhantes à elevadas concentrações de C_3S (Alita) e C_2S (Belita) entre o intervalo de 2θ de 28 a 40° dos ângulos (Souza & Cardoso, 2009; Mehta & Monteiro, 2006; BENARCHID & ROGEZ, 2005; STANĚK & SULOVSKÝ, 2009 and LI et al., 2014) e corrobora imagens das nas análises de microscopia eletrônica de varredura.

Os difratogramas de raios-X dos *dregs* e *grits* (Fig. 6b) sustentam a existência dos compostos mineralógicos em sua composição química. Ambos apresentaram as fases cristalinas de carbonato de cálcio (CaCO3), pirssote (Na2Ca (CO3)2 2(H2O)), hidróxido de cálcio (Ca(OH)2), óxido ferroso (FeO). Os difratogramas dos *dregs* com *grits* foram semelhantes nestas fases.

(a) (b)

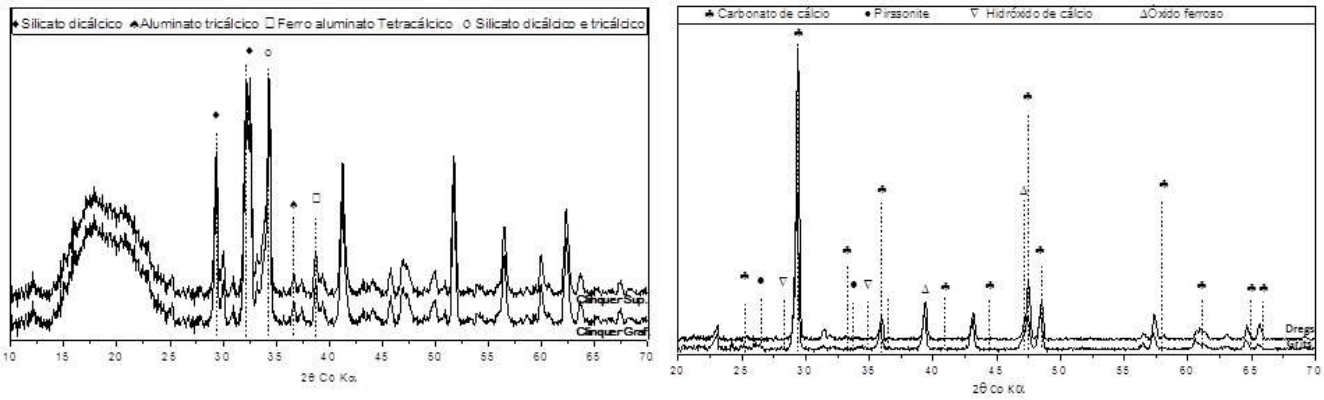

Fig. 6. Difratogramas de raios X(a) clínquer e (b) *dregs* e *grits*.

As curvas termogravimétricas (TG/DTG) para o *dregs* e *grits*, mostraram faixa de temperatura de aquecimento de 30 a 1000ºC para todas as amostras (Fig. 7). A curva TG dos *dregs* (Fig. 7a) mostrou o primeiro evento endotérmico a 500°C como relacionado à desidroxilação do hidróxido de cálcio e um segundo a 650°C relacionado à decomposição do CaCO3. A TG dos *grits* (Fig. 7b) mostrou perda de massa inicial relacionada à água fisicamente adsorvida na superfície do material e perda de massa de, aproximadamente, 40% na faixa de 600-800 °C, o que, também, pode estar relacionada à decomposição dos carbonatos de cálcio, calcita (CaCO3), para formação de CaO e CO2 (SIQUEIRA & HOLANDA, 2013).

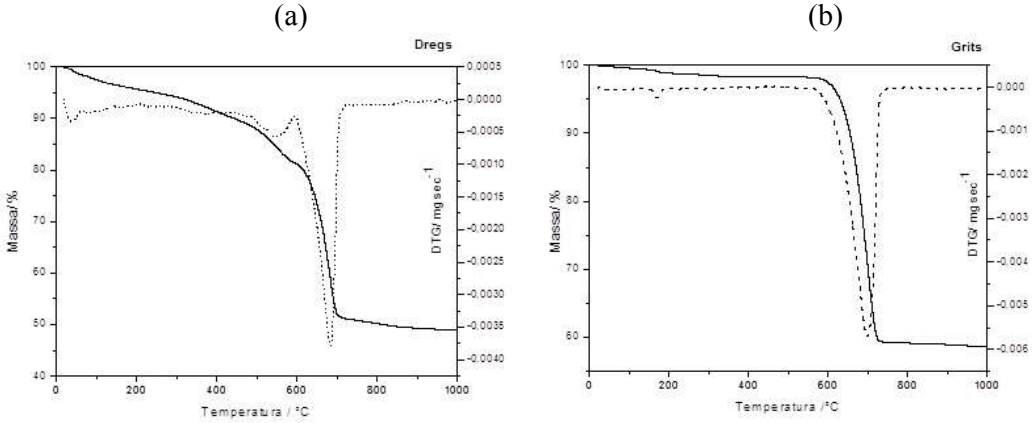

Fig. 7. Curva TG/DTG com fluxo de ar sintético (50 mL min-1) e razão de aquecimento 10°C min-1 (a) *dregs* e (b) *grits*.

O ensaio de atividade pozolânica mostrou condutividade elétrica de 0,31 mS/cm para os *dregs* e de 0,87 mS/cm para os *grits* demonstrando que esses materiais não possuem atividade pozolânica, mas esses resíduos melhoram a reatividade com o cimento. Estes materiais cumprem bem o seu papel, com elevados valores de Blaine na adição cimentícia de preenchimentos de poros (filler) (MEHTA & MONTEIRO, 2006 e ISAIA, 2010).

Os ensaios de massa, área especifica e finura realizados nas substituições adotadas junto com a referência (0% de materiais) mantiveram-se dentro dos limites aceitos pelas normas brasileiras (Tabela 3). Entretanto, a área específica do clínquer encontra-se no limite inferior da norma, demostrando sua baixa resistência nos ensaios de massa, área especifica e finura.

Tabela 3. Massa específica (Massa Esp.), área específica (Área Esp.) e índice de finura (Índ. Fin.) Resultados dos testes de massa, área específica e finura

Material	*Massa Esp. (g/cm³)*	*Área Esp. (m^2/kg)*	*Índ. Fin. (%)*
Clínquer	3,00	246	0,26
Dregs	2,44	1031	0,78
Grits	2,67	972	95,20

A massa específica dos *dregs* e *grits* são favoráveis para mistura ao clínquer, com massa específica superior a 3 g/cm3. Os elevados valores de área específica dos *dregs* e *grits* favorecem o preenchimento de poros e atuam como filler. O índice de finura dos *grits* foi maior que o dos *dregs* o que pode comprometer a sua homogeneização durante a mistura ao clínquer (MEHTA & MONTEIRO, 2006 e ISAIA, 2010).

Os ensaios de tempos de pega mantiveram-se nos limites preconizados pelas normas, exceto na substituição de 15% com a área específica de 404 m2/kg, abaixo do recomendado (ABNT NM 65, 2003). Estes valores inferiores da substituição de 15% podem ser justificados pela elevada concentração de álcalis, óxido de potássio (K2O) e sódio (Na2O), que aceleram o tempo de pega e pode estar relacionada a alta área específica comparada com as outras substituições (MEHTA & MONTEIRO, 2006 e ISAIA, 2010).

A expansibilidade *Le Chatelier* nas substituições adotadas e na referência mantiveram-se dentro dos limites recomendados pelas normas (ABNT 5.732:1991 e ABNT 11.578:1991).

Os resultados do ensaio a resistência mecânica à compressão nos corpos de prova cilíndricos fabricados com as adições de *dregs* e *grits* em substituição ao clínquer (0; 2,5; 5; 7,5; 10 e 15%) (Fig. 8) foram rompidos aos três, sete e vinte oito dias de idade.

A resistência à compressão dos corpos de prova tende a aumentar com o aumento das reações com as substituições de *dregs* (Fig. 8a e 8b) e *grits* (Fig. 8c e 8d) por tempo de cura.

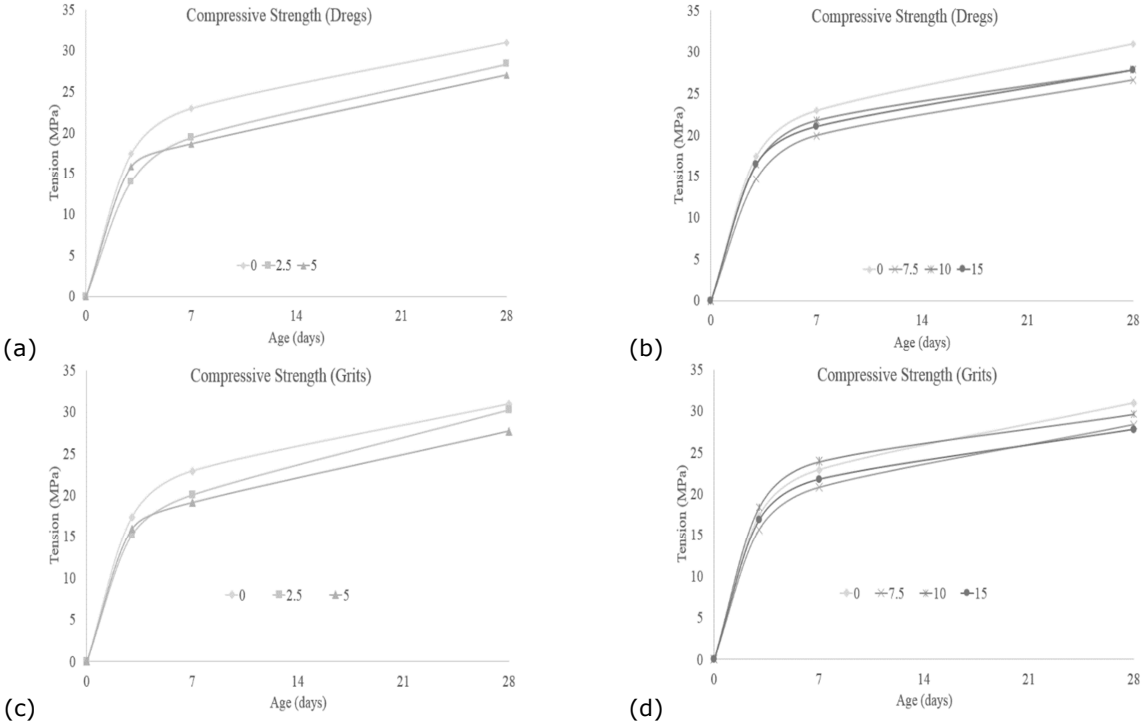

Fig. 8. Resistência a compressão com substituição de 0; 2,5 e 5% dos *dregs* (a) e *grits* (c) e de 0; 7,5; 10 e 15% dos *dregs* (b) *grits* (d).

- A taxa de crescimento de evolução dos corpos de prova com as incorporações de *dregs* apresentaram comportamento semelhante ao 0% de materiais;
- Todas as substituições apresentaram resistências menores que com 0% de materiais aos 28 dias, A resistência aos três dias com as substituições de 10 e 15% foi maior que as das demais;
- A substituição de 10% aumentou a resistência a compressão aos três e sete dias.
- A taxa de crescimento de evolução, com base na referência (0% de materiais), dos corpos de prova com as incorporações de *grits* foi semelhante;
- A resistência com todas as substituições foi menor que a da referência (0% de materiais) aos 28 dias;
- As substituições de 10 e 15% aumentou e foi semelhante a resistência nas primeiras idades (três e sete dias) à da referência;
- A resistência nas primeiras idades (três e sete dias) foi maior com substituição de 10% aos três e sete dias que aos 28 dias;
- A resistência com substituição de 2,5 e 10% foi semelhante aos 28 dias.

A evolução do módulo estático de elasticidade à compressão dos corpos de prova aumentou com a hidratação das partículas do clínquer com a idade. A evolução do módulo estático de elasticidade com as substituições de *dregs* e *grits* na (Fig. 9) por tempo de cura.

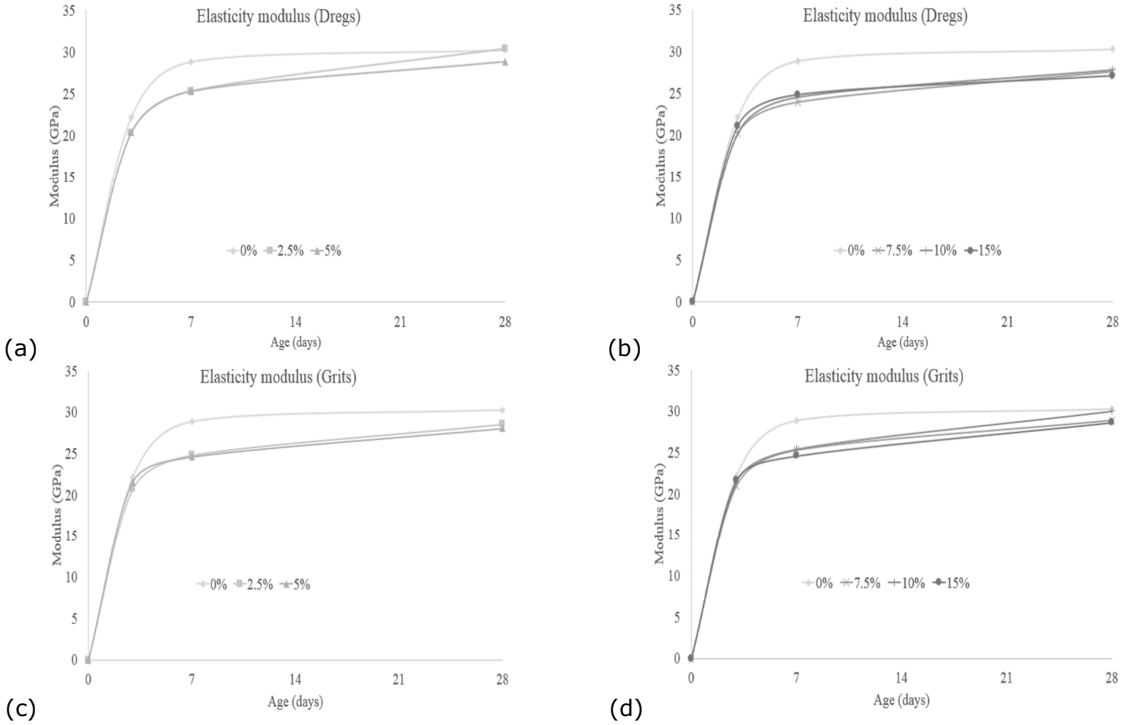

Fig. 9. Módulo de elasticidade com porcentagens de substituição dos *dregs* (a) e *grits* (c) com 0; 2,5 e 5% dos *dregs* com 0; 7,5; 10 e 15% dos *dregs* (b) *grits* (d).

- A taxa de crescimento de evolução do modelo estático de elasticidade dos *dregs*, com base na referência (0% de materiais), dos corpos de prova foi semelhante;
- A resistências dos *dregs* com substituições foi menores que a da referência (0% de materiais) na idade de 28 dias, exceto com 2,5 % que foi pouco acima;
- A substituição de 15% aumentou e apresentou valor semelhante dos *dregs* do módulo de elasticidade na primeira idade (3 dias) ao da referencia
- O valor dos módulos de elasticidade dos *dregs* foram semelhantes aos sete dias e menores que os da referência;
- As substituições 2,5; 5 e 7,5% não alteraram os valores dos *dregs* do módulo de elasticidade aos 28 dias.
- A taxa de crescimento do modelo estático de elasticidade, dos corpos de prova com incorporações de *grits* foi semelhante ao da referência (0% de materiais);
- A resistências de todas as substituições de *grits* foi menor que a da referência (0% de materiais) aos 28 dias;
- O módulo de elasticidade na primeira idade (três dias) foi semelhante com todas as substituições ao da referência;
- A substituição de *grits* aos sete dias foi menor que a da referência;
- A substituição de *grits* foram semelhantes ao da referência aos 28 dias.

4. Conclusões

A caracterização físico-química mostrou potencial e compatibilidade dos *dregs* e *grits* para serem incorporados ao clínquer na produção de cimento Portland. As proporções de *dregs* e *grits* (2,5; 5; 7,5 10 e 15%) no clínquer são viáveis para a produção de cimento Portland comum adição (CP I-S) e Cimento Portland composto (CP II-F).

Dregs e *grits* podem ser incorporados até nas proporção de 10% ao cliquer para a produção de cimento Portland, estando nos limites mínimos dos testes de resistência à compressão e ao módulo de elasticidade da norma brasileira. A incorporação de *grits* apresenta melhores resultados para testes de resistência à compressão e ao módulo de elasticidade que as com *dregs*.

5. Referências

IBÁ– Brazilian tree industry. Statistics data Jan/2017. Avaliable in: <http://iba.org/images/shared/Cenarios/Cenarios_Jan_2017.pdf>. Accessed in feb. 2017.

MONTE, M. Concepcion et al. Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste management, v. 29, n. 1, p. 293-308, 2009.

KINNARINEN, Teemu et al. Separation, treatment and utilization of inorganic residues of chemical pulp mills. Journal of Cleaner Production, v. 133, p. 953-964, 2016.

U.S. EPA, 2000. Code of Federal Regulations, Protection of the Environment. 40 CFR Parts 260–265—Hazardous Waste Management.

ABNT, 2004. Brazilian Standard NBR 10004 – Solid Wastes – classification. Rio de Janeiro, p 71. (available only in Portuguese).

BIERMANN, C. J. Essentials of pulping and papermaking, San Diego: Academic Press, 1993, 472p.

GAVRILESCU, D. Solid waste generation in kraft pulp mills. Environmental Engineering and Management Journal, v. 3, n. 3, p. 399–404, 2004.

KRIGSTIN S.; SAIN M. Characterization and potential utilization of recycled paper mill sludge. Pulp and Paper Canada, v. 107, n. 5, p. 29–32, 2006.

BAJPAI, P. Generation of Waste in Pulp and Paper Mills. In: Management of Pulp and Paper Mill Waster. Suiça: Springer International Publishing, 2015. cap.2, p. 9-17.

SANCHEZ, Dale; TRAN, Honghi. Treatment of lime slaker grit and green liquor dregs–current practice. In: Tappi Engineering, Pulping and Environmental Conference, Philadelphia, PA. 2005.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2015. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. European Commission, December

MARTÍNEZ-LAGE, Isabel et al. Concretes and mortars with waste paper industry: Biomass ash and dregs. Journal of environmental management, v. 181, p. 863-873, 2016.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil–cement bricks. Jornal of environmental management, v. 131, p. 1–6, 2013

METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. Concrete – Microstructure, Properties, and Materials. California. Ed. Third, 2006. 684p.

ISAIA, G.C., (2ª Ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon – Instituto Brasileiro de Concreto, 2010. 1773p.

CASTRO, F.; VILARINHO, C.; TRANCOSO, D.; FERREIRA, P.; NUNES, F.; MIRAGAIA, A. Utilisation of pulp and paper industry wastes as raw materials in cement clinker production. Int. J. Materials Engineering Innovation, v. 1, n. 1, p. 74-90, 2009.

BURUBERRI, Leire H.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. Preparation of clinker from paper pulp industry wastes. Journal of hazardous materials, v. 286, p. 252-260, 2015.

SEYYEDALIPOUR, S. F.; KEBRIA, D. Y, MALIDARREH, N. R; NOROUZNEJAD, G., Study of utilization of pulp and paper industry wastes in production of concrete. Journal of Engineering Research and Applications, v. 4, n. 1, p. 115–122, 2014.

LUXAN, M.P., Madruga, F., Saavedra, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. Cement and Concrete research, v.19, p.63-68, 1989.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS. NBR NM 23: Determination of density. 1 ed. Rio de Janeiro. 2001. 5p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 16,372: Determination of fineness by the air permeability method (Blaine method). 2 ed. Rio de Janeiro. 2015. 11p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 11,579: corrected version:2013 – Determination of fineness index by means of the 75 µm sieve (nº 200). 2 ed. Rio de Janeiro. 2012 corrected 2013. 4p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 11,578: – Portland composite cement – Specification. 1 ed. Rio de Janeiro. 1991 Erratum 1997. 5p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 8,522: – Determination of elasticity modulus by compression. 2 ed. Rio de Janeiro. 2008. 16p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 7,215:– Compressive strength. 1 ed. Rio de Janeiro. 1991 Erratum 1:1997. 8p. (available only in Portuguese).

_____. NBR 5,738: Concrete - Procedure for molding and curing concrete test specimens. Rio de Janeiro, 2016. 9p. (available only in Portuguese).

NETTLESHIP, Ian et al. Phase Transformations in Dicalcium Silicate: I, Fabrication and Phase Stability of Fine-Grained β Phase. Journal of the American Ceramic Society, v. 75, n. 9, p. 2400-2406, 1992.

BENARCHID, My Y.; ROGEZ, J. The effect of Cr 2 O 3 and P 2 O 5 additions on the phase transformations during the formation of calcium sulfoaluminate C 4 A 3 S¯. Cement and concrete research, v. 35, n. 11, p. 2074-2080, 2005.

LI, Xuerun et al. Effect of SO 3 and MgO on Portland cement clinker: Formation of clinker phases and alite polymorphism. Construction and Building Materials, v. 58, p. 182-192, 2014.

STANĚK, T.; SULOVSKÝ, P. The influence of phosphorous pentoxide on the phase composition and formation of Portland clinker. Materials Characterization, v. 60, n. 7, p. 749-755, 2009.