

OBTENÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS A PARTIR DE LAMA VERMELHA VIA PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO.

L.F. Isaias Jr.¹, L.S Furlan¹, F. Pelisser², M.Peterson^{1,2}, O.R.K.Montedo^{1,2},
A. De Noni Jr^{1,2*}

1- Departamento de Engenharia Química - UNESC

2- Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais- UNESC

*Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Av.Universitária 1105, 88806-000, Criciúma, SC, Brasil. agenordenoni@unesc.net

RESUMO

O objetivo foi a obtenção de agregados graúdos a partir de lama vermelha (LV), avaliando as propriedades de processamento. LV e duas argilas foram coletadas no Estado do Pará, foram caracterizadas por DRX, FRX e Microscopia de Calefação. Seis composições foram planejadas via delineamento de misturas (LV variando de 80 a 100%). Prepararam-se pelotas entre 4 e 19mm em disco de pelotização. A queima foi a temperaturas de 1150 a 1190°C, patamar de 15 a 90min. Caracterizou-se a umidade de pelotização, friabilidade a seco, absorção de água e densidade aparente. As argilas apresentaram teores de argilominerías de 67% e 12%, quartzo de 25% e 82%, respectivamente. Quanto maior o teor de argilas menor a friabilidade e absorção de água. É necessária dosagem apropriada de argilas e ajuste nas condições de queima para conciliar o desempenho em processamento com as propriedades finais requeridas, tornando possível a obtenção de agregados por pelotização.

Palavras-chave: Pelotização, Resíduo, Lama Vermelha, Argilomineral

INTRODUÇÃO

O processo de beneficiamento da bauxita para a produção de alumina gera a lama vermelha (LV) como resíduo. Em geral, 50% da massa de bauxita se converte em LV. No Brasil a produção de alumina está compreendida entre 8 e 10 milhões de toneladas/ano⁽¹⁾. Estima-se que a mesma quantidade seja gerada de lama vermelha. A perspectiva é de aumento de produção com a construção de novas unidades de refino da bauxita, especialmente no estado do Pará.

O desenvolvimento de produtos que possam usar LV como principal componente na composição é um desafio mundial. Produtos cerâmicos destinados ao uso na construção civil têm sido reportado na literatura como importante alternativa de destinação⁽²⁻¹⁰⁾. Dependendo da origem da bauxita os índices de atividade radiológica pode limitar o uso generalizado de produtos com elevado teor de LV⁽¹¹⁾. Em outros casos o desafio é alcançar o desempenho adequado do produto com a maior quantidade de LV possível, seja nas suas propriedades finais ou de processamento.

A produção de agregados graúdos para uso em concreto foi proposta na literatura^(3,4). Os agregados obtidos por extrusão e/ou conformação manual apresentaram, em alguns casos, resultados interessantes. Tais produtos poderiam se de uma boa alternativa para a LV, uma vez que seria um material de grande demanda, fazendo parte da composição dos concretos em proporções que variam entre 35 a 50%. Por outro lado, além dos desafios técnicos intrínsecos às propriedades finais do agregado, o desafio do seu processamento, em especial quando a viabilidade econômica, precisa ser levado em consideração. Como referência inicial, o processo de pelotização de minério de ferro é uma tecnologia dominada, de alta escala de produção e com condições que sinterização que em muito se assemelha com condições típicas para a produção de materiais cerâmicos a base de silicatos.

Diante do cenário exposto acima, o objetivo do presente estudo foi a obtenção de agregados graúdos via processo de pelotização. O foco principal foi a avaliação de algumas propriedades de processamento e o efeito provocado por adições de argilas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Seleção e Caracterização das Matérias-Primas

Foram coletadas uma amostra de LV da bacia de contenção de uma empresa no Estado do Pará, além de duas amostras comercializados como argilas, nomeadas argilas A e B. O critério de seleção destas argilas, além de serem empregadas na fabricação de tijolos e telhas, foi que uma destas argilas fosse de característica plástica/fundente (“boa qualidade”) e a outra menos plástica e menos fundente (“má qualidade”). As amostras foram caracterizadas por DRX (Shimadzu XRD-6000, Kyoto, Japão; $2\theta = 10$ to 80° , 2 graus.min^{-1} , radiação Cu $K\alpha_1$) e por FRX (Philips PW 2400, Eindhoven, Holanda) e por microscopia de calefação (Misura, HSM ODHT 1400, Modena, Italia; $40 \text{ }^\circ\text{C/min}$ ao ar). As fases das argilas foram quantificadas por meio de análise racional.

Obtenção das Pelotas

Seis composições foram preparadas através de planejamento de misturas triaxiais. O teor de LV variou de 80 a 100% e das argilas entre 0 e 20%. O diagrama com as composições está mostrado na Figura 1.

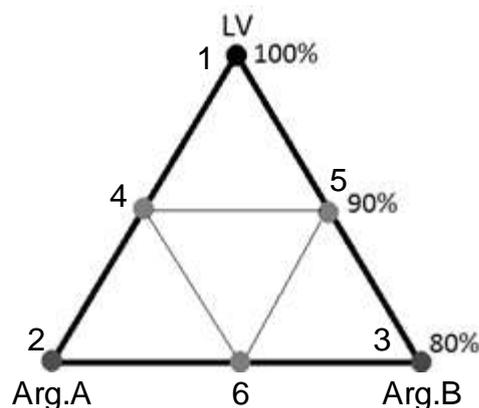


Figura 1. Delineamento de misturas das composições preparadas

Antes da dosagem, as amostras das Argilas e da LV foram secas em estufa a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, destorroadas e moídas a seco até se tornarem totalmente passante em peneira de abertura $\sim 300 \text{ }\mu\text{m}$. As misturas foram pré-homogeneizadas manualmente

por 5 min dentro de embalagens plásticas. Posteriormente foram pré-umificadas com 10% de umidade, passadas em malha de abertura ~500 μm e levadas a um disco de pelotização, onde permaneceram por 10 min sob rotação de 20 rpm e angulação de 45° para completar a homogeneização. Em seguida pulverizou-se água a uma taxa de aproximadamente 10 g/min até as pelotas atingirem o tamanho desejado. A umidade de pelotização foi determinada por secagem em estufa a 110°C até massa constante. Cada batelada foi realizada com 1 kg de mistura seca. Após a secagem as pelotas foram classificadas em peneiras, sendo descartadas as frações abaixo de 4,0 mm e superiores a 19 mm. A Figura 2 mostra a imagem do disco de pelotização após uma batelada. A queima ocorreu em forno elétrico nas seguintes condições: 1150, 1170 e 1190 °C, taxa de aquecimento 20 °C/min, tempo de permanência de 15, 30, 60 e 90 min na temperatura máxima e resfriamento por convecção forçada dentro no forno.



Figura 2. Imagem do disco de pelotização ao final de uma batelada

Caracterização das pelotas

As pelotas úmidas das composições 1 e 6 foram submetidas a ensaio queda a 45 cm. No estado seco tiveram suas propriedades mecânicas avaliadas por ensaio de friabilidade. Este ensaio é empregado para análise de medicamentos, em procedimento padrão descrito na farmacopeia brasileira⁽¹¹⁾. O ensaio consistiu em selecionar 20 pelotas, submetendo-as a rotação de 25 rpm por 4 min em disco de dimensões padronizadas (diâmetro 287 mm, profundidade 38 mm). Após as pelotas foram peneiradas em malha de abertura 2,0 mm, sendo o passante considerado material pulverulento do ensaio. O resultado é expresso em percentual de perda de

massa. Assim, quanto maior a perda de massa, maior a friabilidade e menor a resistência mecânica das pelotas. As pelotas queimadas foram caracterizadas por absorção de água e densidade aparente por empuxo em água.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das Matérias-Primas

A composição química da LV e das argilas e a composição mineralógica das argilas (determinada por análise racional) estão apresentadas na Tabela 1. Na Figura 3 está representado o difratograma de raios X da LV empregada neste estudo.

Tabela 1. Composição química da LV e das argilas A e B, composição mineralogia das argilas A e B obtidas por análise racional.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Outros	P.F
LV	17,1	21,1	10,0	-	1,8	0,1	5,7	34,7	1,1	8,4
Arg.A	58,6	20,8	0,4	1,9	0,1	0,9	1,2	7,9	-	8,2
Arg.B	88,0	5,5	-	-	0,1	-	0,7	2,3	0,7	2,7
	Caulinita		ilita		Quartzo		Outros			
Arg.A	41		25		25		8			
Arg.B	12		-		82		4			

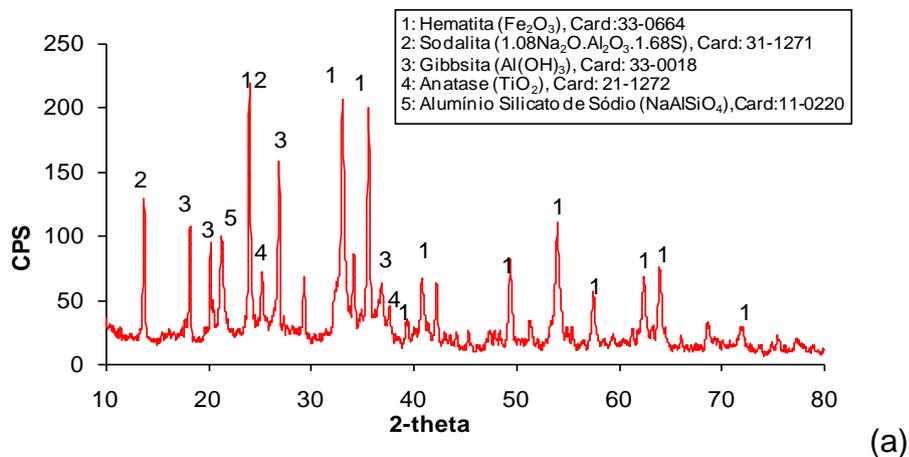


Figura 3. DRX da Lama Vermelha

Observa-se que a LV é constituída basicamente por uma mistura de hematita (aproximadamente 35%), sodalida + gibsita + alumino silicato de sódio (aproximadamente 55%) e óxido de titânio na forma de anatásio (aproximadamente 6%). A Argila A apresentou fração de argilomineral mais elevada do que a Argila B, 66% contra 14%, sendo ~1/3 desta fração composta por ilita. Esta composição confere a argila A um caráter mais plástico e fundente e a argila B menos plástico e menos fundente. Este comportamento pode ser confirmado a partir dos resultados de microscopia de calefação apresentados na figura 3. A argila A apresenta-se fundente, com temperatura de máxima taxa de retração em aproximadamente 1170 °C, com comportamento expansivo após 1300 °C. A argila B taxa de retração muito baixa em relação às outras matérias-primas. A lama vermelha apresentou comportamento intermediário, com máxima taxa de sinterização em aproximadamente 1240 °C. Observa-se ainda um pico retração em aproximadamente 920 °C, correspondente a cristalização de nefelina. A partir de aproximadamente 1340 °C observa-se início de fusão mais intensa.

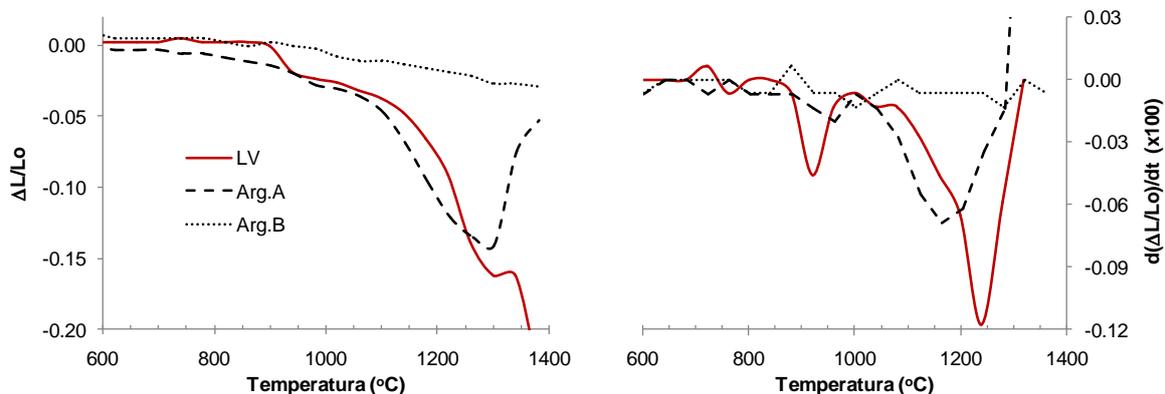


Figura 4. Variação dimensional e taxa de variação dimensional das matérias-primas, obtida por microscopia de calefação.

Caracterização das Pelotas

A Figura 4 mostra os resultados de umidade de pelletização e friabilidade em função do teor de lama vermelha, estratificado pelo tipo de argila na mistura. O comportamento das argilas foi distinto. A argila A, mais plástica, aumenta o teor de umidade necessária na pelletização, uma vez que sua adição faz aumentar o teor de finos na mistura. A argila B diminui a umidade de pelletização, uma vez que sua adição aumenta o teor de partículas grossas à mistura, favorecendo o empacotamento.

Quanto aos resultados de friabilidade, a composição com 100% de LV apresentou comportamento elevado, que representa resistência a seco baixa. Embora não se tenha um parâmetro de comparação direto (para medicamentos a perda não pode ser superior a 1,5%), este comportamento provavelmente seria inapropriado numa condição de processo, uma vez que 100% das pelotas romperam antes do primeiro minuto de ensaio. A adição de argila contribuiu significativamente para a redução da friabilidade, entretanto o desempenho muda em função da composição. A argila A, mais plástica apresentou melhor resultado do que a argila B. Apesar da argila B ser composta por 88% de quartzo (não-plástico) a adição de 20% proporcionou significativa redução da friabilidade, mesmo resultados obtido com 10% de argila A. Comparando estas duas misturas, aquela com a argila B possui quantidade de 2,4% de argilomineral, ao passo que a mistura com argila A possui 6,6% de argilomineral. O desempenho equivalente da argila B quanto a friabilidade poderia estar atribuído ao melhor empacotamento de partículas proporcionado com a sua adição. A mistura de 10% de cada argila proporcionou resultado intermediário em comparação ao comportamento individual.

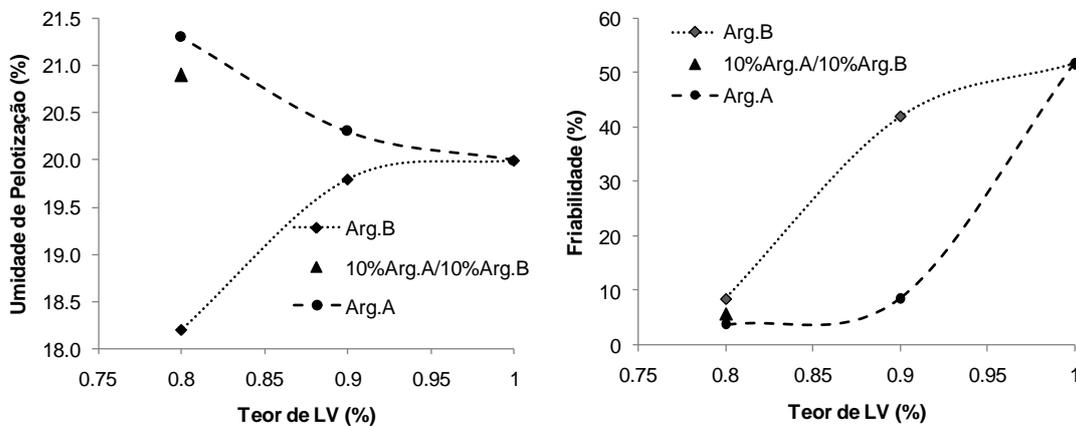


Figura 5. Umidade de pelotização e friabilidade em função do teor de LV

No ensaio de queda a 45 cm, para as pelotas a úmido, o resultado para a composição 100% de LV foi de resistir em média 14 quedas com desvio-padrão 4 quedas. A composição com 80%LV, 10% Arg.A e 10% Arg.B resistiu em média 56 quedas com desvio padrão de 6. Comparativamente para pelotas de minério de ferro o resultado mínimo é resistir a 8 quedas. Todas as composições satisfazem este critério.

Na figura 6 estão apresentados os resultados de densidade aparente (DAP) e absorção de água (AA) em função da temperatura para a composição com 100% de LV e para aquela com 80% de LV. Os melhores resultados AA e DAP foram obtidos para a mistura contendo 20% da Arg.A. queimados a 1190 °C. Este resultado é compatível com microscopia de calefação que indicava maior taxa de sinterização desta argila nesta faixa de temperatura.

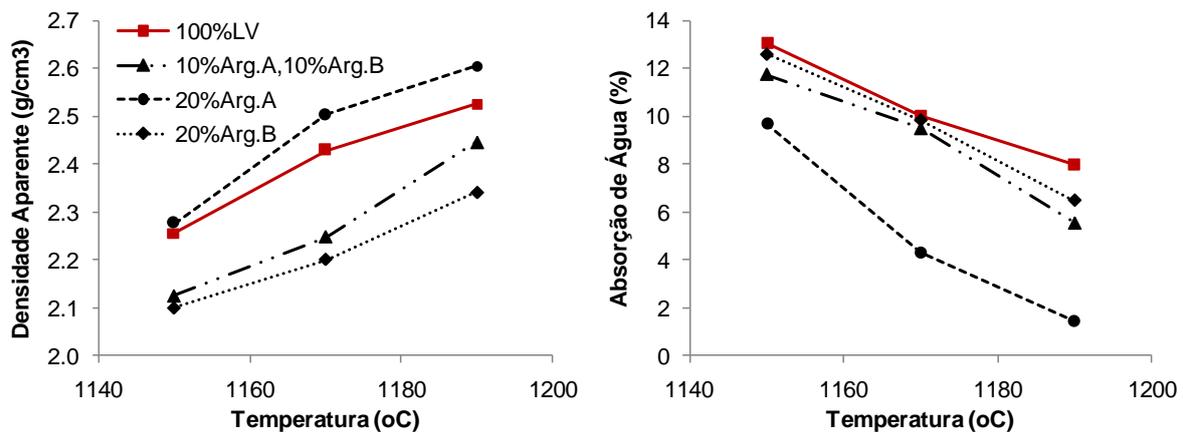


Figura 6. Densidade aparente e absorção de água em função da temperatura de queima para 4 composições selecionadas.

Observa-se que a LV pura apresentou os maiores valores de absorção de água em toda a faixa de temperatura, muito embora tenha resultado em densidade aparente próxima à composição com 20% de Argila A. Apesar do material sinterizar relativamente bem, não foi suficiente para fechar a porosidade. A mistura com 20% de argila B mostrou-se menos densa, porém com absorção comparável a 100% LV. Apesar de ser uma argila refratária o efeito do empacotamento de partículas pode ter contribuído para não elevar a absorção de água acima dos níveis da LV.

Melhorar o desempenho das composições mais ricas em LV ou em argila refratária, requer maior temperatura ou tempo de residência na temperatura máxima. O gráfico da Figura 7 mostra os resultados de DAP e AA para as composição contendo 80% LV e Arg.B. Nestes casos 60 min de tempo de residência foram suficientes para atingir propriedades compatíveis com a composição com 20% da Arg.A. A formação de eutéticos na mistura bem empacotada entre os componentes da LV (em especial o Na_2O) e o quartzo desta argila pode estar associados a este resultado.

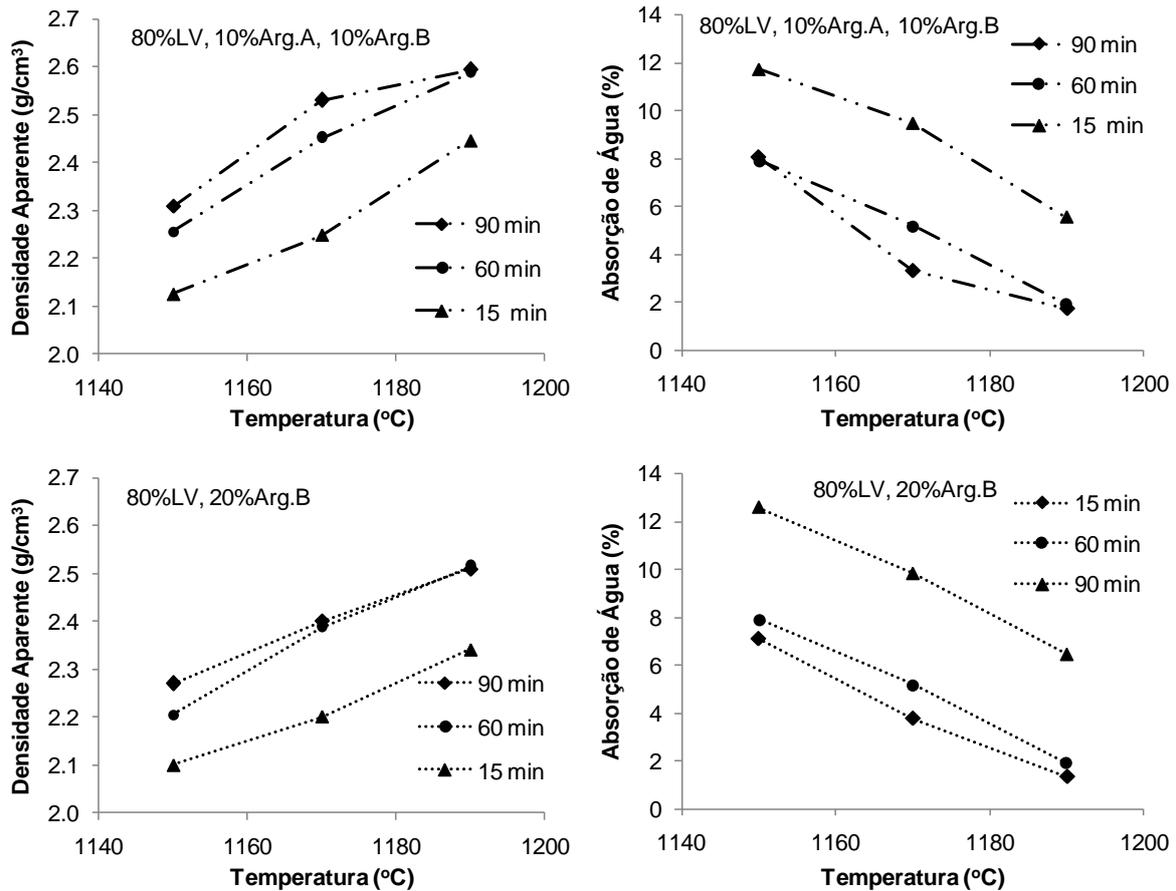
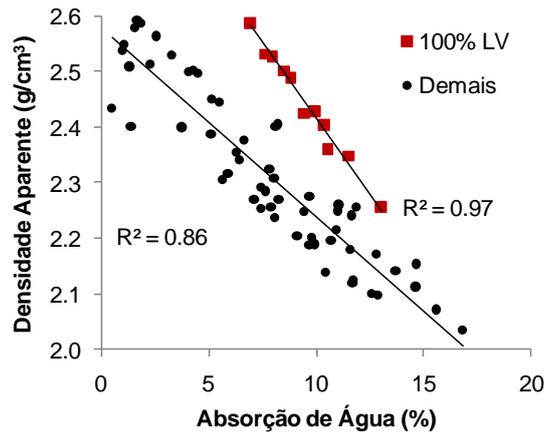


Figura 7. Densidade aparente e a absorção de água para a composição 80% LV, 10% Arg.A e 10% Arg.B em função da temperatura e do tempo de residência.

Uma brita empregada em concretos apresenta densidade aparente de aproximadamente $2,65 \text{ g/cm}^3$ e absorção de água praticamente desprezível. Densidade aparente baixa tende a reduzir o módulo de elasticidade do concreto, em função da maior porosidade. Por outro lado, o efeito mais pronunciado está relacionado com a absorção de água que aumenta a relação água/cimento e, em casos mais extremos tende a aumentar permeabilidade do concreto. A relação entre DAP e AA está apresentada na Figura 8. Observa-se que todas as composições contendo argila resultaram praticamente na mesma tendência entre DAP e AA. Os valores de DAP $> 2,5 \text{ g/cm}^3$ e AA $< 2\%$ tende a satisfazer os requisitos de desempenho. A composição com 100% de LV também resultou em densidade máxima de $2,6 \text{ g/cm}^3$, porém com maior absorção água de 7,5%, o que tende a não satisfazer o critério de desempenho. Este resultado juntamente o exposto na Figura 7 reforçam a necessidade de mistura com argila.



Relação entre DAP e AA para as composições estudadas.

CONCLUSÕES

No presente trabalho foi estudada a obtenção de agregado graúdo para concreto a partir de lama vermelha via processo de pelotização.

A umidade necessária na pelotização depende do teor e composição das argilas na mistura. Quanto maior o teor de argilominerais maior a umidade de pelotização, o contrário é observado para o teor de quartzo. O desempenho em ensaio de friabilidade a seco evidenciou que a composição com 100% de LV apresenta-se insatisfatório. Teores de 10% de argila de boa plasticidade, ou 20% de argila pouco plástica já melhoram significativamente o desempenho.

As pelotas queimadas desenvolveram densidade máxima entre 2,5 e 2,6 g/cm³ e absorção de água mínima entre 1,0 e 2,0%, o que tendem a resultar em desempenho satisfatório quando aplicadas em dosagens de concreto. A condição de tempo e temperatura de queima necessário para atingir tais resultados dependem da composição, neste trabalho apenas as misturas com 20% de argila (independente do tipo) atingiram este desempenho.

O processo de pelotização demonstrou-se viável tecnicamente para a produção de pelotas. Quanto ao desempenho do produto final, ficou evidenciado a importância de adequar a composição das matérias primas quanto aos requisitos de plasticidade, empacotamento de partículas e formação de fase líquida na sinterização através do uso de argilas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a Cia Vale pelo financiamento da pesquisa através do edital CNPq-Vale/CT-Mineral/12/2009. Processo nº 550403/2010-8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Silva Filho, E.B. Alves, M.C.M. Da Mota, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas Revista Matéria, 12, 322-338 (2007).
2. Yang, J. Xiao, B. Development of unsintered construction material from red mud wastes produced in the sintering alumina process. Construction and Building Materials, 22, 2299-2307 (2008)
3. Rossi, C.R.C. Ramos, M.A. Oliveira, D.R.C. Agregados de lama vermelha para concretos, documento on-line disponível em www.cultura.ufpa.br/pecivil/pesquisas/TRABALHO_04.pdf, acesso 15/12/2009.
4. Oliveira, D.R.C. Rossi, C.R.C. Concrete with red mud coarse aggregates. Materials Research, 15, 333-340, 2012.
5. ROSSI, C. R. C. ; RAMOS, M. A. ; MACÊDO, Alcebíades Negrão ; OLIVEIRA, D. R. C. . Estudo Experimental das Propriedades Físicas e Mecânicas de Agregados para a Construção Civil Produzidos a partir de Lama Vermelha. In: 50 Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Salvador, Brasil (2008).
6. Pontikes, Y. Nikolopoulos, P. Angelopoulos, G.N. Thermal behaviour of Clay mixture with bauxite residue for production of heavy-clay ceramics, Journal of European Ceramic Society, 27, 1645-1649 (2007).
7. Pontikes, Y. Rathossi, C. Nikolopoulos, P. Angelopoulos, G.N. Effect of firing temperature and atmosphere on sintering of ceramics made from Bayer process bauxite residue. Ceramics International, 35, 401-407 (2009).
8. Kehagia, F. A successful pilot project demonstrating the re-use potential of bauxite residue in embankment construction. Resource, Conservation and Recycling, Article in Press, doi:10.1016/j.resconrec.2009.10.001.
9. Rodríguez, G.A.P. Rivera, F.G, Pendás, S.D.A. Obtención industrial de materiales cerámicos a partir de lodos rojos del proceso Bayer, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 38, 220-226 (1999)
10. Hildebrando, E.A. Souza, J.A.S. Neves R.S. Influencia do tipo de argila nas propriedades físico-mecânicas de corpos cerâmicos obtidos com lama vermelha do processo Bayer. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, Brasil (2006).
11. Somlai, J. Jobbágy, V. Kovács, J. Tarján, S. Kovács, T. Radiological aspects of the usability of red mud as building material additive. Journal of Hazardous Materials, 150, 541-545 (2008).

12. FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 5. ed. 2010.

COARSE AGGREGATES OBTAINED FROM RED MUD VIA PELLETIZING PROCESS

ABSTRACT

The aim of this work was the obtaining of coarse aggregate from red mud (RM), focused on processing properties. RM and two clays (A and B) were selected from Pará state and characterized by XRD, XRF and HSM. Six compositions were planned by mixture design. RM amount varied from 80 to 100% w/w. Compositions were pelletized in a pelletizer disc, resulting test pieces from 4 and 19mm (diameter). Firing temperatures ranged from 1150 to 1190°C, and holding time from 15 to 90min. Pelletizing humidity, dry friability, water absorption and apparent density were characterized. The clays A and B presented clay mineral content about 67% and 12%, quartz 25% e 82%, respectively. As the clay mineral content increase smaller is the dry friability and water absorption. Appropriated clay mineral dosage and firing parameters is needed in order to satisfy processing with final properties requirements, being possible to obtaining aggregates from pelletizing process.

Key-words: Pelletizing, Waste, Red Mud, Clay Mineral.