



ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina

COMPÓSITO CASCA DE OVO E ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND

Antonio Ludovico Beraldo
César Hideo Nagumo

PRÓXIMA

Realização:



ICTR – Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável
NISAM - USP – Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP



COMPÓSITO CASCA DE OVO E ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND

Antonio Ludovico Beraldo¹, César Hideo Nagumo².

Resumo: A casca de ovo é gerada em grande quantidade em incubatórios de pintainhos e em indústrias alimentícias. Atualmente este tipo de resíduo, altamente vulnerável à contaminação por microorganismos, não é empregado na zona rural. O objetivo deste trabalho consistiu na caracterização da casca de ovo e no estudo da sua aplicação como agregado alternativo para confecção de argamassa de cimento e areia. O compósito foi avaliado por meio de ensaios não-destrutivos (END) de ultra-som e de compressão simples. Os resultados indicaram que o END foi eficiente para acompanhar o período de endurecimento do material. O método permitiu correlacionar a velocidade de propagação da onda ultra-sônica com a resistência do compósito em compressão simples.

Palavras-chave: Material alternativo, ultra-som, compressão simples.

¹ Prof. Assistente, Departamento de Construções Rurais, FEAGRI/UNICAMP, Campinas SP, e-mail: beraldo@agr.unicamp.br

² Graduando em Engenharia Agrícola, Laboratório de Materiais e Estruturas, Faculdade de Engenharia Agrícola –UNICAMP, Campinas SP, (19) 3788-1050, e-mail: nagumo@agr.unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

A utilização de um produto de qualquer natureza nas obras de engenharia, sobretudo de alvenaria está sempre subordinada a três critérios básicos: longevidade, custo-benefício e qualidade. Para almejar tais objetivos é necessário conhecer as propriedades químicas e físicas do produto (GUIMARÃES, 2002).

Atualmente grande parte da produção de 70 mil toneladas de casca de ovos (Produção: fonte FNP online) são descartadas, gerando grandes transtornos para incubatórios de pintainhos e para indústrias alimentícias, já que para utilização como fonte de cálcio alimentício existe o problema da contaminação por microorganismos.

O uso de resíduos, na obtenção de produtos para a construção, é uma das ferramentas mais úteis para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pelo descarte, lançamento em aterros, ou queima.

A utilização de tais materiais pode viabilizar a fabricação de materiais de baixo custo, permitindo ainda a substituição parcial ou total de algumas das matérias-primas convencionais (areia, brita).

A proposta deste trabalho é caracterizar a casca do ovo, sob o ponto de vista de distribuição de tamanho das partículas e verificar a influência da película existente na casca sobre a resistência de argamassa à base de cimento, areia e casca do ovo.

A avaliação do comportamento do compósito será feita por meio de ensaios destrutivos (compressão simples, NBR 7215) e não destrutivo (ultra-som) aplicados aos corpos-de-prova.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades

O ovo é uma estrutura pneumática constituída por uma pele resistente e deformável, submetida a uma pressão interna. A pele em si é formada por três membranas. As duas membranas externas são ligadas entre si por tirantes isolados exatamente como um acolchoado e o espaço encerrado entre elas fica cheio de líquido sob pressão. Este líquido logo endurece, após a postura, e forma a casca calcária. A membrana externa e os tirantes secam e desaparecem. Os tirantes ao desaparecerem deixam em seu lugar poros que são necessários para a “respiração” do embrião. A membrana interna permanece e permite a troca de oxigênio por osmose. Os carbonatos são muito finos e ficam grudados lado a lado, deixando de quando em quando um espaço vazio, que constitui o poro. Na parte interior os cristais são afunilados e se encaixam na membrana interna. Cada cristal é um prisma que possui 300 microns de comprimento e 50 microns de diâmetro (VASCONCELOS, 2000).

Walton et al. (citados por SIM et al., 1983) estimaram que mais de 50 mil toneladas de casca de ovo são produzidas por ano somente por indústrias alimentícias nos EUA e no Canadá; a maioria dessa produção é descartada sem nenhum processamento em aterros sanitários. Esta prática é cara e gera grandes problemas ambientais.

A casca de ovo triturada é um material biológico não uniforme, além de ser poroso e de difícil caracterização devido à sua forma geométrica irregular e tamanho das partículas (BROD, 1999).

2.2 Avaliação de propriedades mecânicas por ultra-som

Segundo BERALDO (1994), a vantagem dos métodos não destrutivos, como é o caso do ultra-som, reside no fato de que eles oferecem uma avaliação correta da qualidade do material. No caso do ultra-som, esta evolução é acompanhada através da medida da velocidade de propagação do som, no objeto, desde as fases iniciais (pega), até idades mais avançadas (endurecimento), para o mesmo material.

O equipamento de ultra-som emite um impulso de vibração longitudinal, produzido por um transdutor eletroacústico que deve ser mantido em contato íntimo com o material. O impulso vibratório é, então, captado por outro transdutor, sendo convertido em sinal elétrico e em unidades de tempo. Este tempo de propagação do som no material (e a conseqüente velocidade) pode caracterizar o material, servindo de parâmetro para avaliação das suas propriedades mecânicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Análise granulométrica da casca do ovo

Foi feita por meio de adaptação da norma NBR 7217, se utilizado 60 g do material passante nas peneiras de malhas (abertura em mm): 4,77; 2,38; 1,19; 0,59; 0,297; 0,149; 0,074 e fundo. Foi calculado o diâmetro máximo do agregado e o módulo de finura para cada amostragem. Esses valores foram comparados com aqueles relativos ao agregado miúdo.

3.2 Tratamento aplicados à casca de ovo

Sabendo que a película da casca de ovo é inibitória à pega do cimento, tornou-se necessário realizar-se tratamentos em busca daquele que fornecesse os resultados mais adequados, a saber:

- Lavado em água pura e realizando a decantação da casca do ovo em relação à película aderida, seguido da secagem a 105° C por 24 h;
- Tratado em solução de NaOH a 3% por 24 h e lavado com água corrente e secado em estufa a 105° C por 24 h;
- Tratado em solução de Ca(OH)₂ a 5% por 24 h e lavado com água corrente e secado em estufa a 105° C por 24 h.

A lavagem em água corrente tornou-se necessária para a remoção da película aderida à casca de ovo, por ser incompatível com cimento, fato este verificado pela impossibilidade de realização do ensaio com a casca do ovo natural (testemunha).

3.3 Moldagem dos corpos-de-prova

Na fabricação dos corpos-de-prova foram utilizados o cimento CP II-E-32 (NBR 11578) e areia de granulometria média, de acordo com a recomendação da norma NBR 7215. Desse modo, os corpos-de-prova cilíndricos (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) foram confeccionados através da mistura manual dos componentes até a homogeneidade do material. A seguir a mistura foi colocada em moldes plásticos de PVC de 2" de diâmetro; os moldes foram previamente untados com óleo mineral. A compactação foi efetuada em três camadas com auxílio de um soquete simples; a desmoldagem foi feita 24 h após a moldagem. A cura foi feita em câmara úmida durante sete dias.

Foram feitos para cada traço e de cada tratamento 3 corpos-de-prova. Para cada traço foram feito 3 testemunhas para avaliar o comportamento de acordo com a inserção de casca de ovo na argamassa.

3.4 Ensaio não destrutivo por ultra-som

Após 24 h decorridas da confecção dos corpos-de-prova efetuou-se a desmoldagem e aplicou-se o ensaio não destrutivo (propagação de onda de ultra-som), através do aparelho ultrasonic tester BP 7 (marca: Steinkamp). Os sensores, de seção exponencial, apresentavam frequência de ressonância de 45 KHz.

Os ensaios de ultra-som foram feitos durante 21 dias, idade final em que se realizava o ensaio de compressão simples.

A velocidade de propagação (m/s) foi obtida efetuando-se a divisão da distância entre os transdutores pelo tempo de propagação da onda.

Para cálculo do módulo de elasticidade dinâmico utiliza-se a equação $Ed = d \cdot V^2 \cdot 10^{-6}$, onde Ed = Módulo de elasticidade dinâmico, V = velocidade em m/s e d = densidade.

3.5 Ensaio de Compressão Simples

O ensaio de compressão simples foi realizado depois de decorridos 21 dias da data de confecção dos corpos-de-prova, após ter-se realizado o capeamento dos mesmos com pasta de enxofre.

Foi utilizada a Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (capacidade de 200 KN) pertencente ao Laboratório de Instrumentação e Controle da FEAGRI para a realização destes ensaios, seguindo a norma NBR-7215 para ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação da granulometria e do diâmetro médio da partícula da casca de ovos

A determinação da granulometria é importante para verificação do posicionamento dos grânulos de casca de ovos em relação à areia e ao cimento.

Na tabela 3 encontra-se a análise granulométrica.

Tabela 1a: Granulometria da casca de ovo

Análise granulométrica da casca de ovo

Abertura da peneira(mm)	Quantidade retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,75	0	0	0
2,38	6,12	0,61	0,61
1,19	232,03	23,20	23,82
0,59	577,3	57,73	81,55
0,297	167,08	16,71	98,25
0,149	12,7	1,27	99,52
0,074	3,4	0,34	99,86
Fundo	1,05	0,11	100
Total	1000	100	

Tabela 1b. Granulometria da areia.

Análise granulométrica da areia

Abertura da peneira(mm)	Quantidade retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,75	0	0	0
2,38	25,7	2,57	2,57
1,19	89,69	8,97	11,54
0,59	240,13	24,01	35,55
0,297	426,46	42,65	78,20
0,149	150,53	15,05	93,25
0,074	54,53	5,45	98,70
Fundo	12,86	1,29	100
Total	1000	100	

Através da tabela calculou-se o módulo de finura, somando as porcentagens retidas acumuladas (exceto o fundo) e dividindo por 100, resultando num módulo de finura de 3,90 para a casca de ovo, diferente da areia que foi de 3,2 e foi verificado que o diâmetro máximo existente para a areia e a casca de ovo foi de 2,38 mm, desprezando-se a peneira de 4,75 mm, pois se verificou uma quantidade insignificante de material acumulado nessa abertura de peneira.

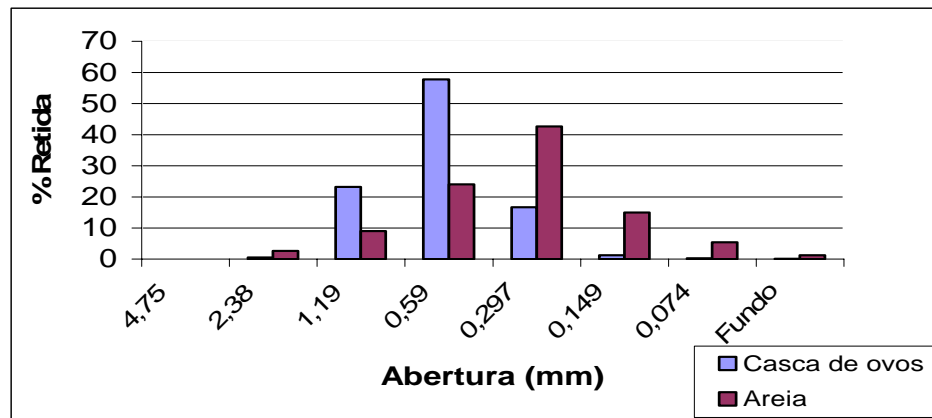


Figura 1. Comparação das distribuições das peneiras.

Através da figura 1, pode-se verificar que a casca do ovo apresenta granulometria mais grosseira, pois possui uma distribuição dos grânulos mais acentuada na peneira de malha 0,59 mm, enquanto que a areia (média) possui maior porcentagem retida na peneira de abertura 0,297 mm.

4.2 Ensaio não destrutivo

O comportamento dos compósitos referentes aos diversos tratamentos foi verificado através da velocidade de propagação da onda de ultra-som sobre os corpos-de-prova em relação ao tempo (idade).

Após calcular-se a velocidade teórica, obteve-se a média das velocidades teóricas dos corpos-de-prova de mesmo traço e mesmo tratamento e inseriu-se, no mesmo plano da velocidade experimental, com objetivo de comparar os resultados.

Tratamento: Casca de ovo lavada– Cimento CP II – E – 32. –TRAÇO: 1:2:2 (cimento: areia: casca de ovo) Fator água/cimento:0,6.

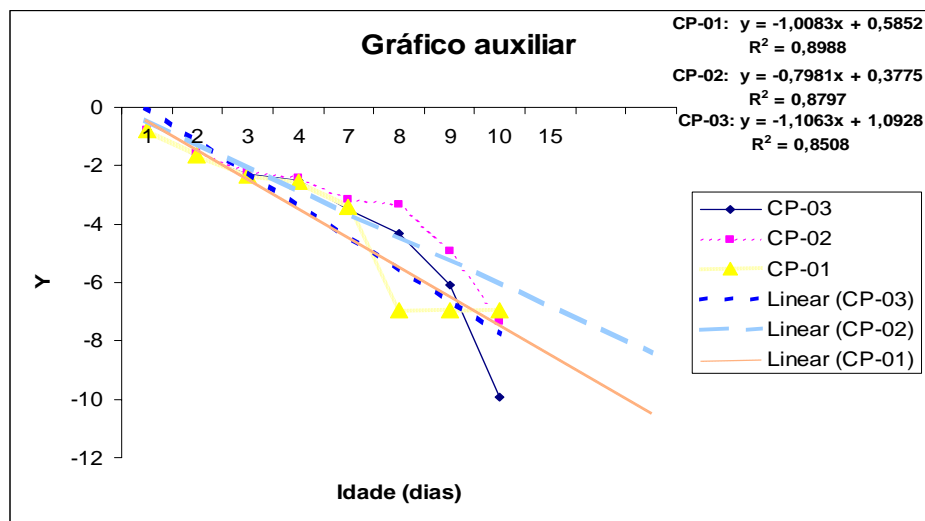


Figura 2. Gráfico auxiliar (Tratamento: lavagem c/ água – Traço 1:2:2.

Cimento CP II - E - 32. -TRAÇO: 1:2:2 (cimento: areia: casca de ovo) Fator a/c:0,6.

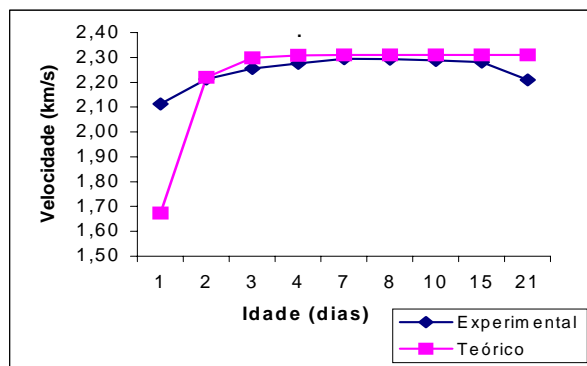


Figura 3a. Gráfico das médias das velocidades Tratamento: lavagem em água.

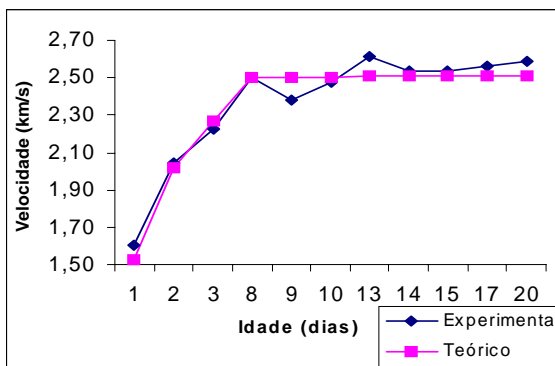


Figura 3b. Gráfico das médias das velocidades Tratamento: NaOH à 3% por 24 h.

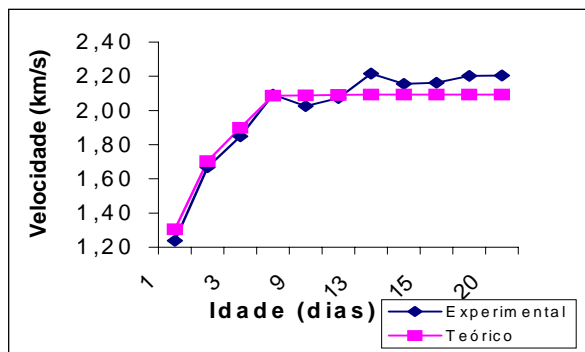
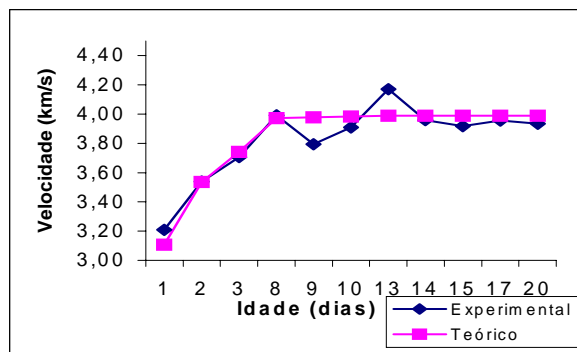


Figura 3 c e 3 d . Gráfico das médias das velocidades Tratamento: $Ca(OH)_2$ à 3% por 24 h



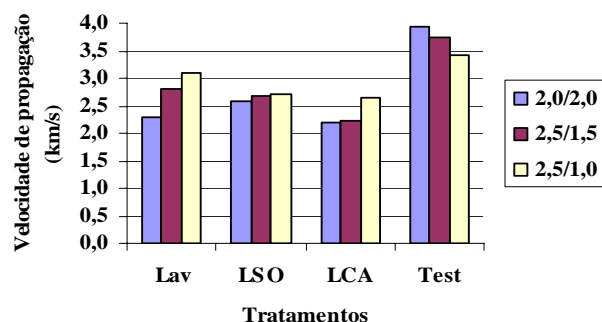
Testemunha: Traço 1:2 – Fator a/c:0,36

Através dos gráficos de velocidade, verificou-se que a velocidade de propagação da onda aumentou e tendeu a se estabilizar a partir do 15º dia; tal fato ocorreu, provavelmente, devido à cristalização do cimento junto aos agregados, o que diminuiu o tamanho dos poros internos, melhorando a propagação da onda de ultra-som através do material.

As velocidades obtidas foram se elevando de acordo com o aumento da proporção de areia no compósito. Isso permite dizer que a utilização de casca de ovo como agregado possui restrições quanto à carga utilizada. Portanto, para utilização no preparo de argamassa que receberá grandes solicitações mecânicas, torna-se imprescindível o uso de uma dosagem reduzida de casca de ovos.

Percebeu-se que o desempenho dos corpos-de-prova submetidos a tratamento com soda cáustica (NaOH) e Cal hidratada $Ca(OH)_2$ forneceram resultados inferiores àquele submetido somente à lavagem. Tal fato pode ser explicado devido às reações ocorridas com as substâncias alcalinas e a película, gerando incompatibilidade com o cimento, e não permitindo a cristalização adequada do aglomerante.

Para tornar-se mais compreensível, na figura 4 apresenta-se o efeito causado pelos tratamentos aplicados à casca de ovo sobre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova entre os tratamentos e os traços realizados.



Onde os corpos-de-prova:

] **Lav:** Casca de ovo lavada com água.

LSO: Casca de ovo submetido à solução de Soda à 3%.

LCA: Casca de ovo submetido à solução de Cal à 3%.

Test: Testemunha;

Azul: traço 1;2 – Fator a/c:0,37; Vermelho: traço 1;2,5 – Fator a/c:0,42 Amarelo: traço 1;2,5 – Fator a/c: 0,47.

Figura 4. Comparativo das velocidades de propagação da onda de ultra-som sobre corpos de prova submetidos a diversos tratamentos

Na figura 4 pode-se observar que o tratamento consistindo na lavagem em água apresentou o melhor resultado, sobre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica, em relação aos demais tratamentos. Tal fato pôde ser corroborado analisando-se o resultado do ensaio de compressão simples obtidos no capítulo subsequente.

4.3 Ensaio de Compressão Simples

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples permitiram correlacionar a velocidade de propagação através da onda de ultra-som e o ensaio destrutivo de compressão simples.

Os diversos tratamentos permitiram demonstrar as variações de resistência à compressão de acordo com cada tratamento, como apresentado na tabela 2, o ensaio de compressão realizado pelos corpos-de-prova de traço 1;2,5;1,5 (cimento;areia; casca de ovo).

Tabela 2. Resultados do ensaio destrutivo de compressão simples.

	Traço:1;2,5;1,5 Relação A/C:0,6 Trat: lavagem c/ água			Traço:1;2,5;1,5 Relação A/C:0,6 Trat: NaOH p/ 24h		
	CP - 1	CP - 2	CP - 3	CP - 4	CP - 5	CP - 6
TENSÃO (MPa)	10,06	9,21	9,32	6,93	5,60	6,42

	Traço:1;2,5;1,5 Relação A/C:0,6 Trat:Ca(OH)2 p/ 24h			Traço:1;2,5 Relação A/C:0,42 Testemunha		
	CP - 13	CP - 14	CP - 15	CP - 04	CP - 05	CP - 06
TENSÃO (MPa)	4,74	3,72	5,09	14,77	19,86	25,46

Os resultados obtidos através da Máquina Universal de Ensaio, demonstraram-se satisfatórios, contudo a variação na tensão obtida pelo corpo-de-prova testemunha deveu-se, provavelmente, à mistura manual inadequada.

A análise de variância demonstrou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ao nível de 5% de significância para as variáveis respostas de tensão de ruptura (MPa). Após a análise foi realizada uma comparação das médias dessas variáveis pelo teste de Tukey (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios da densidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico e tensão de ruptura dos corpos-de-prova.

Tratamento	Densidade (kg/m ³)	Velocidade (m/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (Mpa)	Tensão de Ruptura (Mpa)
Testemunha	1356	3700	18564	17,84 a
Lavado	1164	2680	8360	8,08 b
Soda cáustica	1178	2660	8335	6,37 bc
Cal	1068	2350	5898	4,9 c

Para efeito comparativo, na figura 5 encontra-se o gráfico das médias de tensões:

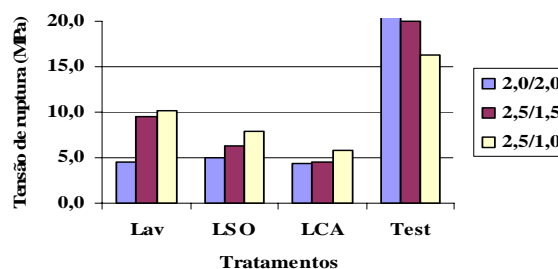


Figura 5.Comparativo de tensões de ruptura realizados em corpos-de-prova submetidos a 3 tratamentos.

Onde os corpos-de-prova:

-] **Lav:** Casca de ovo lavada com água.
- LSO:** Casca de ovo submetido à solução de Soda à 3%.
- LCA:** Casca de ovo submetido à solução de Cal à 3%.
- Test:** Testemunha; Azul: traço 1;2 – Fator a/c:0,37; Vermelho: traço 1;2,5 – Fator a/c:0,42 Amarelo: traço 1;2,5 – Fator a/c: 0,47.

4.4 Correlação entre velocidade e tensão

O ensaio de ultra-som demonstrou que através da velocidade de propagação da onda ultra-sônica (em km/s tornou-se possível prever a tensão (em MPa) de ruptura do corpo-de-prova, possibilitando prever resultados de tensão em experimentos que se encontram em andamento.

Para prever resultados próximos de tensões tornou-se necessário à execução do gráfico de Tensão vs. Velocidade para todos os corpos-de-prova ensaiados. Na figura 6 apresentam-se os dados de média das velocidades finais para cada traço vs. A tensão média correspondente.

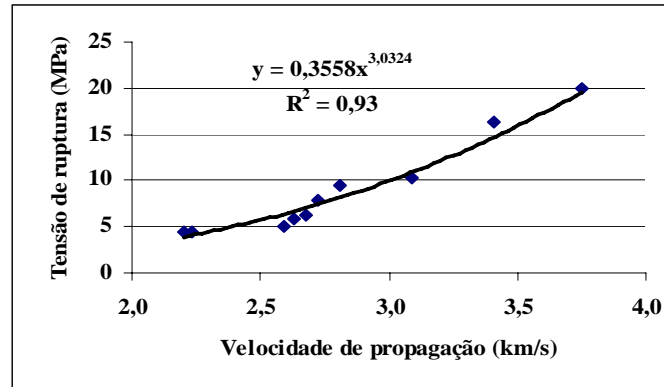


Figura 6. Gráfico Tensão vs. Velocidade – Linha de tendência

Através do modelo $y = 0,3558X^{3,0324}$ (figura 6) provavelmente possa-se prever o comportamento de compósitos provenientes de tratamento à base de acelerador cloreto de cálcio (3% em relação à massa de cimento). Como a velocidade após 15 dias está tendendo a se estabilizar, o valor provável para a resistência à compressão:

Traços:

* 1; 2;2 : Velocidade: 2,32 km/s – Tensão provável = 4,56 MPa.

* 1; 2,5; 1,5: Velocidade: 2,63 km/s – Tensão provável = 6,67 MPa.

* 1; 2,5; 1 : Velocidade : 2,79 km/s – Tensão provável = 7,99 MPa

5 CONCLUSÃO

As análises feitas em laboratório indicaram que o compósito argamassa de cimento, areia e casca de ovo pode ser considerado leve pois está em torno de 1100 kg/m³, um valor inferior a argamassa de cimento e areia que situa-se em torno de 1400 kg/m³, permitindo o uso para divisórias e forros, através de placas e tijolos.

A utilização do ensaio de ultra-som permitiu acompanhar o período de reação do cimento com a água (endurecimento), possibilitando realizar previsões de tensões de ruptura dos corpos-de-prova,

Através dos experimentos realizados em laboratório foi detectado que a casca de ovo submetida à lavagem em água, forneceu compósito de melhor resistência média significativamente em relação à cal, porém não difere estatisticamente (teste de Tukey) em relação à soda, possibilitando a utilização deste agregado sem necessidade da realização de tratamento, reduzindo o custo de preparo da matéria-prima.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Rio de Janeiro **NBR 7215** – Cimento Portland: Determinação da resistência a compressão, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996. 8p.
- _____**NBR 11578** – Cimento Portland composto, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 8p.
- BERALDO, A. L. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento. In: SIMPÓSIO “**MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA CONSTRUÇÕES RURAIS**”. 1997. Campina Grande, PB, p. 1-48.
- BROD, FERNANDO PEDRO REIS **Construção e teste de um secador vibro-fluidizado**. Dissertação de Mestrado em engenharia agrícola – UNICAMP – FEAGRI, Campinas, 1999 p.43-100.
- GUIMARÃES, JOSÉ EPITÁCIO PASSOS, “**A cal, fundamentos e aplicações na engenharia civil**, 2ª. Ed., São Paulo, Pini, 2002
- SIM, J.S., AW-YONG, L.M., BRAGG, D.B. **Utilization of eggshell waste by the laying hen**. In: Poultry Science. Danville: Poultry Science Association Inc., 1983. v. 62, n.11, p. 2227-2229.
- VASCONCELOS, AUGUSTO CARLOS DE. “**Estrutura da natureza: um estudo da interface entre a biologia e engenharia**”, Studio Nobel, São Paulo, 2000, p. 111-114.
- ZUCCO, LORIS LODIR, “ **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz**, dissertação de mestrado, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, 1999.

EGGSHELL PORTLAND CEMENT MORTAR COMPOSITE

Abstract: Chicken breeding and food industry generates considerable amounts of eggshell. Nowadays this kind of waste, strongly favorable to microorganism proliferation, is not employed in rural areas. The objective of this work was to determine the characteristics of eggshell and study its applications as non-conventional aggregate in sand-cement mortar production. Composite was evaluated by means a non-destructive test (ultrasonic) and by axial compression. Results showed relationship between ultrasonic speed wave across the specimens with its compression strength.

Keywords: Non-conventional material, ultrasonic, axial compression