

Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado

Lucinei Tavares de Assunção
Engenheira Civil – Faculdade Ideal (FACI).
Belém – PA [Brasil]
lucaengenharia@hotmail.com

Geraldo Ferreira de Carvalho
Engenheira Civil – Faculdade Ideal (FACI).
Belém – PA [Brasil]
gerald@linkbel.com.br

Márcio Santos Barata
Professor em Engenharia Civil – Faculdade Ideal (FACI).
Belém – PA [Brasil]
msb@amazon.com.br

A Resolução nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que atribui ao construtor a responsabilidade pela destinação final dos resíduos da construção civil, induzirá ao reaproveitamento dos resíduos da construção e demolição (RCD). Com base nessa perspectiva, o objetivo, neste trabalho, consiste em avaliar as propriedades das argamassas de revestimento produzidas com agregados provenientes dos RCDs, nas quais se substituiu o agregado natural pelo reciclado, em 30% e 50%, respectivamente. Utilizou-se aditivo incorporador de ar em substituição da cal. Os resultados com as substituições foram comparados ao traço de referência. Analisaram-se propriedades das argamassas no estado plástico e no endurecido. As argamassas com RCD tiveram aumento de resistência mecânica em relação à argamassa de referência e apresentaram melhor rendimento nas propriedades analisadas. São notáveis os benefícios ambientais do uso dos agregados reciclados na substituição parcial dos naturais. Entretanto, são necessários mais estudos para total confiabilidade no uso do agregado reciclado.

Palavras-chave: Agregado. Reciclagem. Resistência.



1 Introdução

A grande quantidade de resíduos sólidos de construção e demolição, produzidos pela indústria da Construção Civil nos grandes centros, apresenta-se como grande problema urbano, social e econômico para tais centros, em razão da elevada geração de resíduos da construção e demolição (RCD) e por sua disposição de forma desordenada.

Com a recente Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que atribui ao construtor a responsabilidade pela destinação final dos resíduos provenientes da construção civil, acredita-se que haverá maior reaproveitamento dos RCDs. Segundo essa resolução, tais resíduos são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e aqueles resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, comumente chamados de entulho de obras, calça ou metralha. Como podem ser observadas, as origens são várias. Segundo Pinto (1999), o Brasil gera, por ano, 0,52 toneladas de entulhos por habitante, o que representa de 50% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Esses resíduos apresentam elevado potencial de reciclagem, proporcionando um reaproveitamento, o que justifica o interesse pelo estudo de outros materiais. Atualmente, uma das principais maneiras de reciclar e reaproveitar esses resíduos é a confecção de argamassas. Neste trabalho, estudou-se a substituição parcial de agregados naturais pelos reciclados oriundos dos RCDs, em argamassas de revestimento (emboço e reboco).

2 Procedimento experimental

O procedimento experimental foi dividido em três etapas:

- Caracterização dos materiais;
- Avaliação das propriedades no estado plástico das argamassas;
- Avaliação das propriedades no estado endurecido das argamassas.

2.1 Caracterização dos materiais

As argamassas utilizadas neste trabalho foram produzidas com cimento, areia natural de Americano, no município de Santa Izabel do Pará, areia reciclada, proveniente do beneficiamento de resíduos da construção e demolição, e aditivo incorporador de ar, em substituição da cal.

2.1.1 Cimento: CP II Z 32

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CP II Z 32, adquirido no mercado de Belém em sacos de 50 kg, e um dos mais usados em obras da região. Constam na tabela 1, composição química (NBR 11578/1991), caracterização físico-mecânica e resistência à compressão (NBR 7215/1996a).

2.1.2 Agregado miúdo (areia natural)

Neste trabalho, utilizou-se areia natural de Americano, município de Santa Izabel do Pará, tendo suas características apresentadas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

2.1.3 Agregado miúdo reciclado (areia reciclada)

O agregado miúdo reciclado, proveniente dos entulhos gerados na construção de um edifício na cidade Belém, estava na fase de alvenaria. Esse material foi triturado e peneirado, sendo composto, na maioria, por resíduos de argamassas, concretos

Tabela 1: Característica do cimento utilizado

Composição química							
Ensaio	Unidade	Resultado %	Limites da norma				
Perda ao Fogo – PF	%	5,61	≤ 6,5%				
Dióxido de Silício – SiO ₂	%	23,21	Não aplicável				
Óxido de Alumínio – Al ₂ O ₃	%	5,07	Não aplicável				
Óxido de Ferro – Fe ₂ O ₃	%	2,79	Não aplicável				
Óxido de Cálcio – CaO	%	56,25	Não aplicável				
Óxido de Magnésio – MgO	%	2,49	≤ 6,5%				
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	%	2,63	≤ 4,0%				
Óxido de Sódio – Na ₂ O	%	0,25	Não aplicável				
Óxido de Potássio – K ₂ O	%	1,23	Não aplicável				
Resíduo Insolúvel – R.I.	%	11,12	≤ 16,0%				
Óxido de Cálcio Livre – CaO Livre	%	0,70	Não aplicável				
Anidrido Carbônico – CO ₂	%	4,29	≤ 5,0%				
Caracterização físico-mecânica							
Finura – Resíduo na peneira 75 µm	%	0,60	≤ 12,0%				
Finura – Resíduo na peneira 325 mesh	%	6,2	Não aplicável				
Massa específica real	g/cm ³	3,01	Não aplicável				
Área específica – Blaine	cm ² /g	3,868	≥ 2.600 cm ² /g				
Água da pasta de consistência normal	%	27,7	Não aplicável				
Tempo de início de pega	h:min	2:40	≤ 1h				
Tempo de fim de pega (Facultativo)	h:min	3:15	≤ 10h				
Expansibilidade a quente	mm	0,0	≤ 5,0 mm				
Resistência à compressão (MPa) – (NBR 7215/1996a)							
	Corpo-de-prova n°						
	1	2	3	4			
1	13,011	13,552	13,606	—	13,4	2,8	Não aplicável
3	23,242	23,331	23,011	23,501	23,3	1,1	≥ 10 MPa
7	28,906	28,501	28,213	29,051	28,7	1,6	≥ 20 MPa
28	38,142	35,921	36,258	36,621	36,2	1,1	≥ 32 MPa

Fonte: ITACIMPASA, 2006.

e tijolos cerâmicos. As Figuras 1 e 2 mostram o agregado reciclado antes e depois do beneficiamento. Na granulometria, foram selecionados os grãos que passaram pela peneira 4,8 mm e os que ficaram retidos na 0,15 mm, ensaio, conforme

Tabela 2: Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo (areia natural)

Determinações	Abertura da peneira	Porcentagem (%)		Método de ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição granulométrica	9,5	0	0	NBR 7217/1987 ^a
	4,8	0	0	
	2,4	1,6	1,6	
	1,2	11,6	13,2	
	0,6	20	33,2	
	0,3	29,3	62,5	
	0,15	24	86,5	
	Fundo	13,5	100	
DMC*	2,40 mm			NBR 7211/2005 ^a
Módulo de finura	2,00			
Zona granulométrica	Zona 2 (Fina)			NBR 7211/2005 ^a

Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 3: Características do agregado miúdo (areia natural)

Determinações	Valores obtidos	Método de ensaio	Limites da NBR 7211/2005 ^a
Massa específica (kg/dm ³)	2,60	NBR 9776/1986	—
Massa unitária (kg/dm ³)	1,63	NBR 7251/1982	—
Teor de material pulverulento (%)	3,5	NBR 7219/1996b	3 – 5*
Impureza orgânica	ausente	NBR 7220/1987b	—

*Limite de 3% para o concreto submetido a desgaste superficial, e de 5% para os demais concretos
Fonte: Os autores, 2006.

NBR 7217/1987a. Os agregados reciclados obtiveram um teor de material pulverulento de 17,86, com base na NBR 7219/1996b. Pode-se observar, nas tabelas 4 e 5, as características dos agregados reciclados.

2.1.4 Água

Neste trabalho, utilizou-se água da rede pública da Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa), da cidade de Belém do Pará, conside-



Figura 1: Resíduos antes do beneficiamento

Fonte: Os autores, 2006.



Figura 2: Resíduos beneficiados em um moinho

Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 5: Características do agregado miúdo (areia reciclada)

Determinações	Valores obtidos	Método de ensaio	Limites da NBR 7211/2005 ^a
Massa específica (kg/dm ³)	2,48 g/cm ³	NBR 9776/1986	—
Teor de material pulverulento (%)	17,86	NBR 7219/1996b	3 - 5*
Impureza orgânica	ausente	NBR 7220/1987b	—

*Limite de 3% para o concreto submetido a desgaste superficial, e de 5% para os demais concretos
Fonte: Os autores, 2006.

rada portátil, destacando-se que não foram realizados ensaios para sua caracterização.

2.1.5 Aditivo

Foi utilizado aditivo incorporador de ar – o mais usado no mercado da cidade de Belém –,

Tabela 4: Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo (areia reciclada)

Determinações	Abertura da peneira	Porcentagem (%)		Método de ensaio
	ABNT (mm)	Retida	Acumulada	
Composição granulométrica	75,0	0	0	NBR 7217/1987 ^a
	50,0	0	0	
	37,5	1,41	1,41	
	25,0	4,81	6,22	
	19,0	4,88	11,10	
	12,5	10,19	21,29	
	9,5	4,71	26,00	
	6,3	3,11	29,11	
	4,8	0,77	29,88	
	2,4	0,97	30,85	
	1,2	0,77	31,62	
	0,6	4,17	35,79	
	0,3	29,76	65,55	
0,15	20,72	86,27		
Fundo	12,07	98,34		
DMC*	37,5 mm			
Módulo de finura	3,20			
Zona granulométrica	Zona 2 (Fina)		NBR 7211/2005 ^a	

Fonte: Os autores, 2006.

mais especificamente no traço de referência 6 ml de aditivo, conforme orientação do fabricante, e nos traços com agregados reciclados de 3 ml.

3 Análise dos resultados

Para análise dos resultados, as argamassas foram divididas em três grupos (Tabela 6). Denominou-se o traço de referência de REF e os traços com 30% e 50% de agregado reciclado de AR30 e AR50, respectivamente.

Para o traço de referência, foram utilizados 6 ml de aditivo incorporador de ar, e para os traços com agregados reciclados (AR30 e AR50), 3 ml de aditivo.

Tabela 6: Definições de traços

Traço	Dosagem	% Substituição do agregado natural por
	Massa	
Referência (REF)	1:5,71	0%
AR 30	1:5,71	30%
AR 50	1:5,71	50%

Fonte: Os autores, 2006.

3.1 Análise das propriedades no estado plástico

3.1.1 Consistência

Essa propriedade é um indicador da trabalhabilidade, servindo de parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura, a fim de que a argamassa alcance trabalhabilidade desejável (ensaio descrito na NBR 13276/2005b). Neste trabalho, foi adotada consistência de 270 mm ± 10 mm. O ensaio foi realizado pela mesa de consistência manual (*flow table*).

Os valores encontrados serviram de base para determinação da massa de água a ser utilizada nos traços tanto de referência, com 100% de agregado natural, quanto nos AR30 e AR50. Os traços com agregados reciclados alcançaram aumento do fator água/aglomerante, em razão da influência da finura dos agregados.

Tabela 7: Resultados das consistências e fator água/cimento (a/c)

Traço	1ª determinação em mm	2ª determinação em mm	Média	Fator a/c
REF	263,25	258,48	260,865	1,08
AR30	270,96	266,64	268,800	1,32
AR50	280,82	282,32	281,570	1,38

Fonte: Os autores, 2006.

3.1.2 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado durante o processo de mistura é determinado de acordo com o ensaio descrito na NBR 13278/2005c e serve de parâmetro para calcular o consumo real de cimento por

metro cúbico. Tendo como base a avaliação do consumo de cimento, é possível estimar o custo de produção das argamassas.

Foi utilizado, neste trabalho, o aditivo incorporador de ar em substituição à cal. Para o traço de referência, usou-se o recomendado pelo fabricante, de 6 ml, e para os traços com agregados reciclados, de 3 ml, obtendo valor menor de ar incorporado, resultado considerado satisfatório (verificar na tabela 8), por não influenciar nem na coesão, nem na plasticidade.

Tabela 8: Quantidade de ar incorporado nas argamassas

Traços	% de ar incorporado	% de ar incorporado	Média
REF	20	20	20,00
AR30	13	14	13,50
AR50	10	10,5	10,25

Fonte: Os autores, 2006.

3.2 Análise das propriedades no estado endurecido

3.2.1 Resistência à compressão axial

As argamassas de revestimento devem resistir a pequenos esforços de compressão axial. O ensaio de determinação da resistência por compressão axial está descrito na NBR 13279/2005d. As resistências da argamassa AR50 obtiveram valores consideráveis em relação ao traço de referência.

Tabela 9: Resultados em MPa do ensaio de compressão axial

Traços	REF	AR 30	AR 50
7 dias	4,30	3,80	6,16
	4,43	4,48	6,21
	4,29	4,58	6,98
14 dias	4,59	4,74	7,74
	3,97	5,70	6,40
	4,97	5,20	8,10

Fonte: Os autores, 2006.



3.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

A solicitação à tração tem uma ordem de grandeza maior nas argamassas de revestimento que as de compressão axial. A resistência à tração por compressão está descrita na NBR 7222/1983. Na figura 3, mostra-se um corpo de prova a ser rompido na prensa.



Figura 3: Corpo de prova na prensa

Fonte: Os autores, 2006.

Tabela 10: Resultados em MPa do ensaio de tração e de compressão diametral

Traços	Ref	AR30	AR50
7 dias	0,35	0,39	0,70
	0,46	0,50	0,69
	0,46	0,58	0,75
14 dias	0,63	0,74	0,83
	0,62	0,77	0,80
	0,61	0,72	0,76

Fonte: Os autores, 2006.

3.2.3 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade de as argamassas não sucumbirem aos esforços normais de tração. Geralmente, os resultados desse tipo de ensaio são variáveis, por causa de a resistência ao arrancamento ser medida da interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos. O ensaio para

determinação desse tipo de resistência foi realizado nos revestimentos com 14 dias, seguindo os procedimentos descritos na norma 13528/1995. Nas figuras 4, 5 e 6, verificam-se os passos do ensaio de arracamento.



Figura 4: Parede com reboco

Fonte: Os autores, 2006.

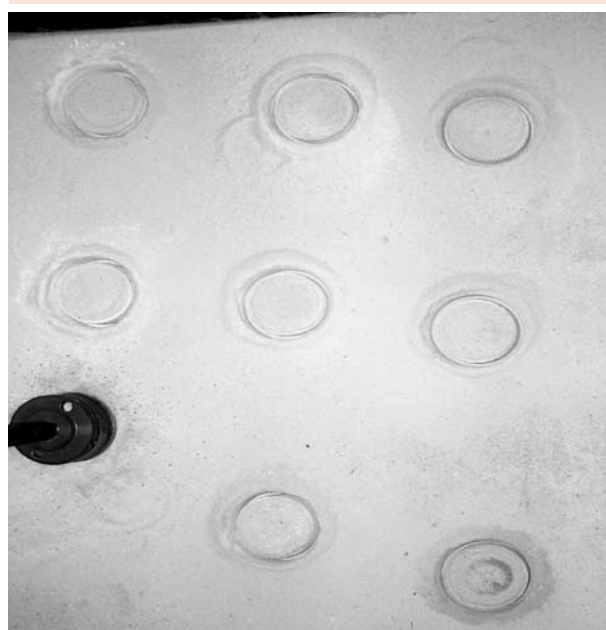


Figura 5: Preparação dos furos

Fonte: Os autores, 2006.

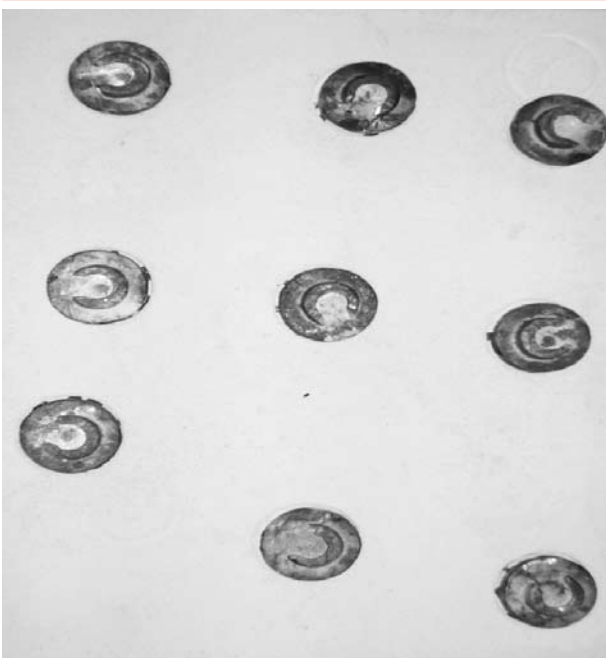


Figura 6: Colagem das pastilhas para o arracamento

Fonte: Os autores, 2006.

Segundo a NBR 13749/1996c, para paredes internas é preciso obter um valor 0,20 MPa, e para as externas, > 0,30 MPa.

Tabela 11: Resultados em MPa do ensaio de aderência à tração

Traço	Ref	AR 30	AR 50
Determinações 14 dias			
1	0,42	0,24	0,40
2	0,59	0,34	0,61
3	0,58	0,44	0,63
4	0,52	0,42	0,71
5	0,32	0,48	0,50
6	0,43	0,20	0,55
7	0,88	0,46	0,50
Média	0,53	0,56	0,36

Fonte: Os autores, 2006.

Comparando os resultados deste ensaio, considerados satisfatórios, observa-se que os valores obtidos são aqueles descritos na NBR 13749/1996c.

4 Considerações finais

Atualmente, a busca por materiais alternativos está cada vez mais em evidência; em razão disso, analisou-se, neste trabalho, a alternativa da substituição do agregado natural pelo reciclado na produção de argamassas de revestimento (emboço e reboco). Os agregados reciclados provieram dos resíduos da construção e demolição (RCDs). Nas argamassas produzidas com o agregado reciclado, obteve-se o fator água/cimento maior do que o de referência, resultado esperado em razão de os materiais constituintes absorverem grande quantidade de água. Essas argamassas também apresentaram desempenho adequado, e os resultados foram satisfatórios na resistência mecânica. As resistências obtidas nas argamassas com agregado reciclado foram superiores às da argamassa com o traço de referência.

A argamassa produzida com 50% de agregado reciclado apresentou-se com melhor desempenho de resistência e trabalhabilidade. Os resultados foram satisfatórios, porém há necessidade de continuidade dos estudos para que os resíduos da construção civil possam ser utilizados, de forma segura, como agregados reciclados, minimizando, dessa forma, os impactos ambientais provocados por esses resíduos.

Evaluation of the properties of the covering mortar produced with construction and demolition waste as aggregate

The Resolution nº 307/2002 of the Brazilian National Environment Council (Conama) that attributes to the constructor the responsibility for the final destination of the residues from the civil construction, it will lead to the reuse of construction and demolition waste (CDW). In



such a way, the objective in this work consists in evaluating the properties of covering mortar produced with aggregates proceeding from CDW, in which the natural aggregate was substituted for the recycled one, in 30% and 50%, respectively. The results were compared to a reference trace that used air additive incorporating in substitution of the whitewash. Some properties of mortar were analyzed, in the plastic and hard state. The CDW mortar had its mechanical resistance improved in relation to the reference mortar and present a better performance when it comes to the properties analyzed. The results obtained made evident the environment benefits from the use of recycled aggregates with partial substitution of natural aggregates. However, more study of the properties of recycled aggregates is necessary to assure the CDW use.

Key words: Aggregate. Recycling. Resistance.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251. *Agregados em estado solto*: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222. *Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776. *Agregados*: determinação da massa específica de agregado miúdo do frasco de Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217. *Agregado*: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7220. *Agregados*: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregados miúdo. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578. *Cimento Portland Composto*: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos*: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. *Cimento Portland*: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219. *Determinação do teor de material pulverulento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1996b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749. *Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas*: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1996c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. *Agregado para concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos*: preparo da mistura e determinação de índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos*: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279. *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos*: determinação da resistência à tração na flexão à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA n. 307*. Brasília, 2002.
- PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Recebido em 26 set. 2007 / aprovado em 6 nov. 2007

Para referenciar este texto

ASSUNÇÃO, L. T. de; CARVALHO, G. F. de; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 223-230, jul./dez. 2007.