

4. Resultados e discussão

4.1. Características físicas, químicas e mineralógicas do solo

4.1.1. Análise física do solo

A tabela 6 apresenta as propriedades físicas do solo estudado, onde: LL – Limite de Liquidez; LP – Limite de Plasticidade; IP – Índice de Plasticidade e; G_s – densidade dos grãos. Na figura 26 é ilustrada sua distribuição granulométrica.

Tabela 6. Características físicas do solo estudado, em %.

Areia	Silte	Argila	LL	LP	IP	G_s
38,81	11,14	50,05	75,80	40,86	34,94	2,68

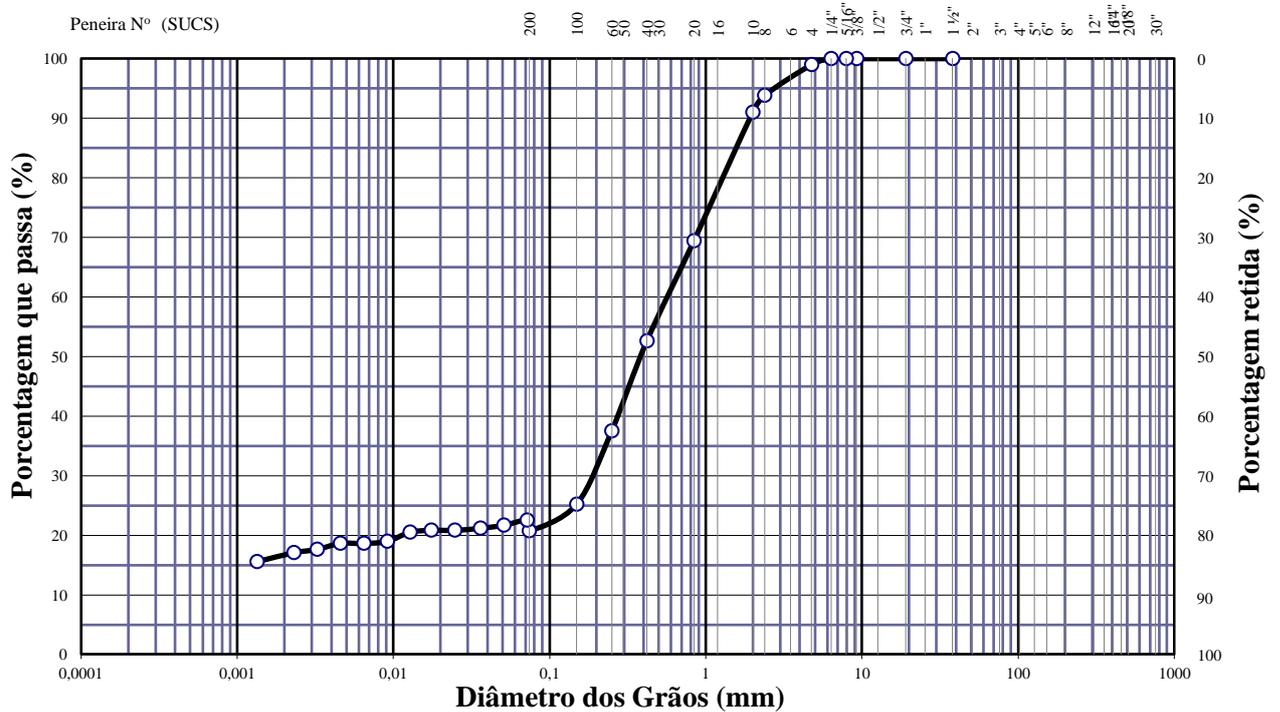


Figura 26. Distribuição granulométrica do solo estudado.

4.1.1.1. Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS)

Classificar um solo é incluí-lo em um determinado grupo, composto por solos de características e propriedades geotécnicas similares (LAMBE e WHITMAN, 1969). O sistema utilizado para classificação do solo foi o Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS). Este sistema, primeiramente, considera a porcentagem de finos (passante na peneira #200) presentes no solo. Se esta porcentagem for inferior a 50%, o solo será considerado como solo de granulação grosseira, G ou S. Se for superior a 50%, o solo será considerado de granulação fina, M, C ou O (PINTO, 2006, p.53). Em resumo, o esquema de classificação é apresentado na tabela 7. O solo utilizado nesta pesquisa, foi classificado como uma argila inorgânica de média e alta plasticidade (OH).

Tabela 7. Esquema para classificação pelo Sistema Unificado.

% P #200 <50	G > S:G	% P #200 <5	GW CNU >4 e 1 < CC <3
			GP CNU <4 ou 1 > CC >3
		% P #200 >12	GC GM
		5 < #200 <12	GW-GC, GP-GM, etc.
	S > G:S	% P #200 <5	SW CNU >6 e 1 < CC <3
			SP CNU <6 ou 1 > CC >3
% P #200 >12		SC SM	
	5 < #200 <12	SW-SC, SP-SC, etc.	
% P #200 >50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
		OH	

4.1.2. Análise química do solo

Argilominerais possuem carga elétrica na superfície basal, devido a substituições isomórficas dos íons de silício (Si^{+4}) por íons alumínio (Al^{+3}) e dos íons alumínio por íons magnésio (Mg^{+2}) ou ferro (Fe^{+2}), além da quebra de ligações químicas nas arestas das partículas. Essa deficiência de carga, que está distribuída na superfície do mineral é balanceada por cátions atraídos do meio como Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Al^{3+} e Fe^{3+} , os quais ficam ligados eletrostaticamente à superfície basal ocupando o espaço interplanar (PINTO, 2006). O valor obtido do ensaio CTC indica a presença desses cátions intercambiáveis (trocaíveis) ligados à superfície basal da argila (EMBRAPA, 1979). O CTC é um ensaio que pode indicar o tipo de argilomineral presente na amostra. O ensaio de CTC por azul de metileno gerou dados que podem ser conferidos na tabela 8, indicando que o argilomineral predominante é a caulinita.

Tabela 8. CTC e Superfície específica da amostra de solo estudada.

CTC (meq/100g)	Superfície específica (m^2/g)
4,547	35,483

4.1.3. Análise mineralógica do solo

As análises de difração de Raio-X da amostra de solo, é ilustrada na figura 27. O exame mineralógico identificou a argila predominante, como sendo do tipo caulinita. A caulinita é pouco expansiva, em decorrência de sua estrutura química, assim, é mais desejável na produção de elementos e/ou tijolos de terra (REDDY e GUPTA, 2005). Barbosa et al (1997) mencionam que a argila caulinita e ilita são mais indicadas em contraposição ao uso da argila do tipo montmorilonita, em virtude da mesma ser muito expansiva, ocasionando aumento indesejável de volume em presença de água.

A caulinita – $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ – é o argilomineral mais frequentemente encontrado na natureza. Este argilomineral é formado pelo empilhamento regular de camadas 1:1, um plano de tetraedros $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ e outro de octaedros $\text{Al}_2(\text{OH})_4^{2+}$, ligadas entre si através de pontes comuns de íons O^{2-} e íons OH^- (figura 28), formando uma estrutura fortemente polar que se mantém estável na presença de

água (CALLISTER, 2006). Houben e Guillaud (1994) comentam que a caulinita é o tipo de argilomineral mais estável e, portanto, o menos expansivo. A distância entre suas duas camadas é de cerca de 7 Å e sua contração linear é pequena, em comparação a outros argilominerais, variando entre 3 e 10%.

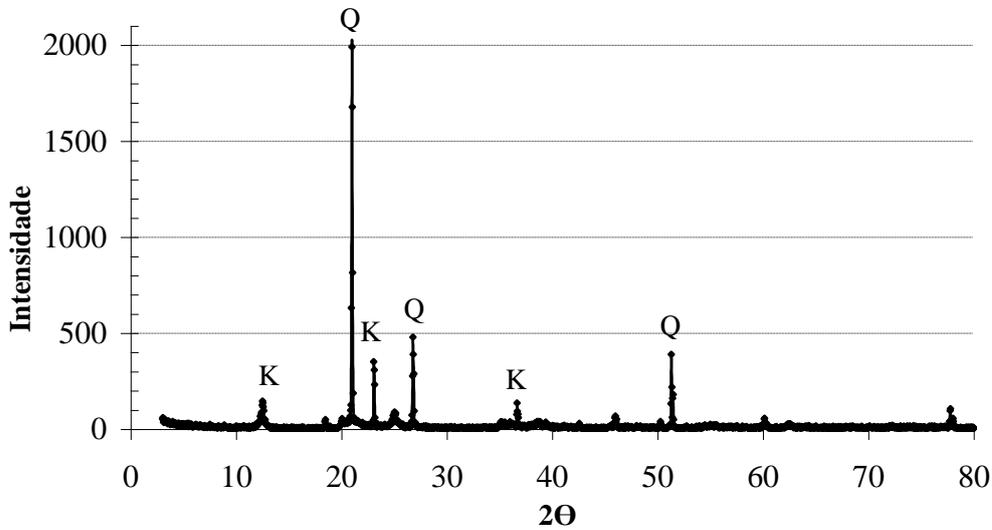


Figura 27. Difratoograma do solo (SC). • Q- Quartzo (SiO_2) – 54,0%; • K- Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) – 46,0%.

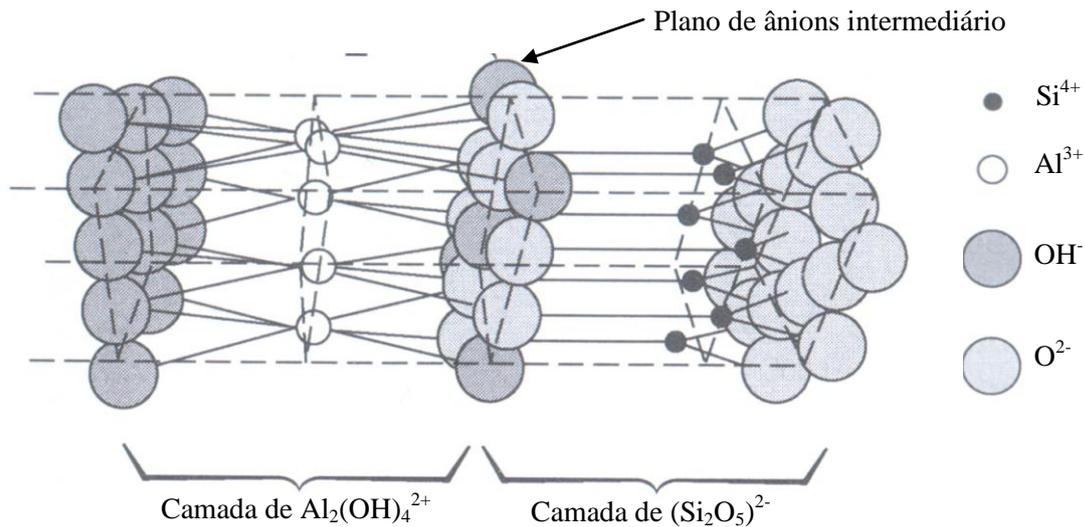


Figura 28. Estrutura atômica da argila caulinita (CALLISTER, 2006, p.37).

4.2. Características físicas das fibras vegetais

4.2.1. Geometria, Teor de umidade, Peso específico e Resistência a tração

Na tabela 9 são apresentados os valores médios do diâmetro, do teor de umidade natural, massa específica das fibras e a resistência individual média das fibras de pupunha e sisal. As fibras de pupunha analisadas possuíam diâmetro 53% maior do que as fibras de sisal. Quanto ao peso específico, as fibras de pupunha e sisal apresentaram índices próximos. A resistência a tração da fibra de pupunha foi comprovadamente menor que a de sisal (13 vezes). Na figura 29, são apresentados as imagens da seção transversal das fibras. O cálculo da tensão foi calculado com base na área da fibra obtida no processamento digital de imagens (PDI).

Tabela 9. Características físicas das fibras vegetais estudadas.*

Tipo de fibra	Diâmetro (mm)	Teor de umidade (%)	Massa esp. (g/cm ³)	Tensão (MPa)
Pupunha	0,35 (60,61)	17,60 (2,45)	1,142 (2,05)	26,19 (62,3)
Sisal	0,228 (31,37)	16,79 (3,03)	1,134 (0,47)	358,12 (12,5)

* os valores entre () representam o coeficiente de variação (CV), em %.

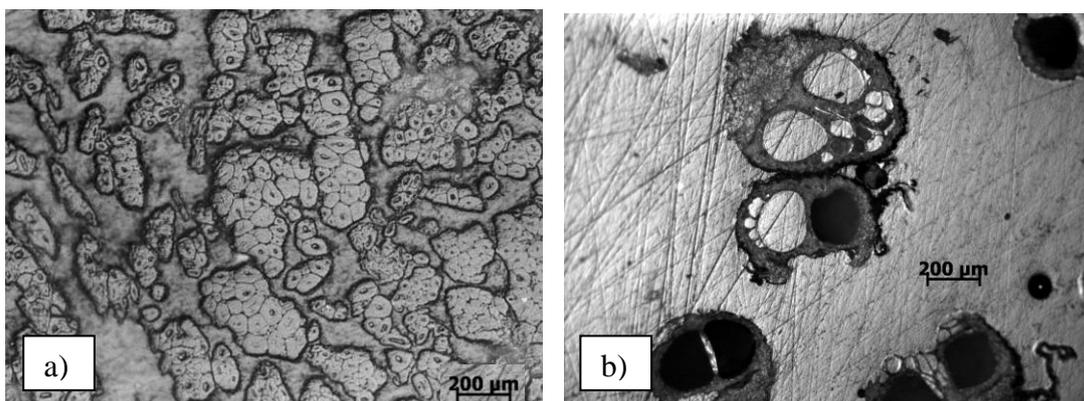


Figura 29. Imagens obtidas por microscopia ótica digital da seção transversal das fibras. a)sisal; b) pupunha (TEMER, 2010).

4.3. Preparação e ensaio dos compósitos

4.3.1. Umidade ótima e Massa específica aparente seca máxima

Os procedimentos descritos no subitem 3.4 (Preparação e ensaio dos corpos de prova) para obtenção da umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, gerou a curva ilustrada na figura 30. O ensaio de Proctor não é indicado para a obtenção da umidade ótima para BTC em razão da energia de compactação e da natureza do carregamento (BARBOSA et al, 1997; MESBAH et al, 1999; PINTO, 2008; BARBOSA e GHAVAMI, 2007). Na figura 31 obteve-se o valor da umidade ótima (26%) utilizado para a moldagem dos corpos de provas deste trabalho.

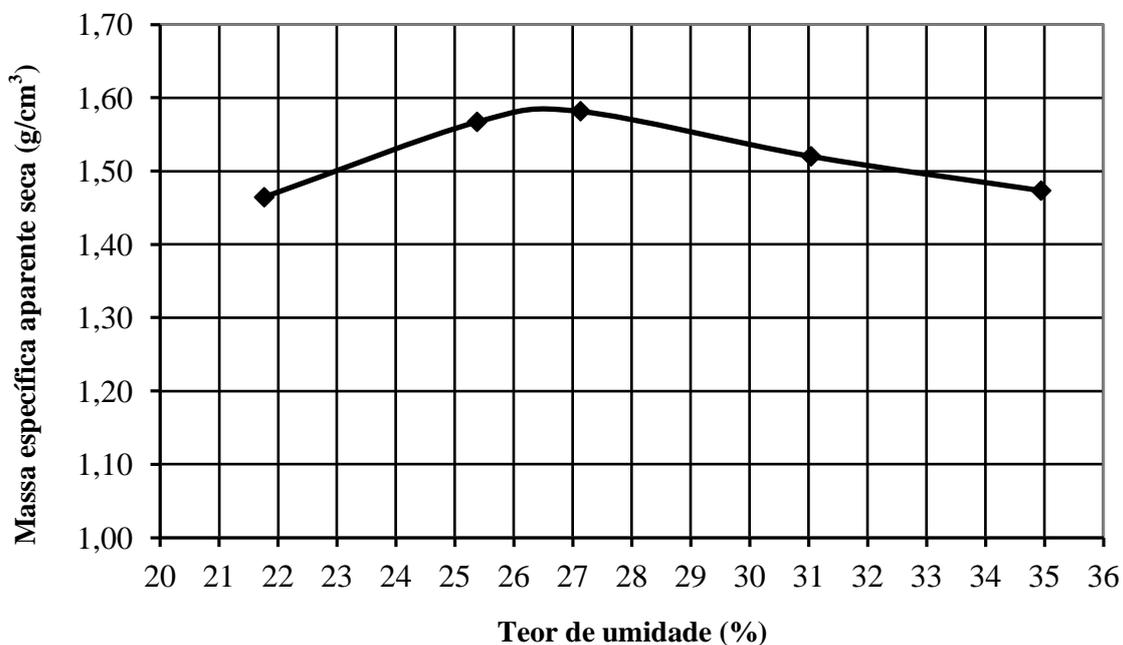


Figura 30. Curva de compactação do solo estudado.

4.4. Resistência à compressão simples

Os ensaios de compressão simples nos corpos de prova de referência (solo/CIM) comprovam o ganho de resistência com o aumento do tempo de cura (figura 31). A resistência dos espécimes estudados foram superiores ao mínimo exigido por norma (ABNT, 1984e). As recomendações mencionam que a amostra ensaiada de acordo com a NBR 8492 não deve apresentar a média dos valores de

resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²), nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias. Na figura 32, pode-se visualizar, como esperado, o comportamento frágil da matriz solo/CIM.

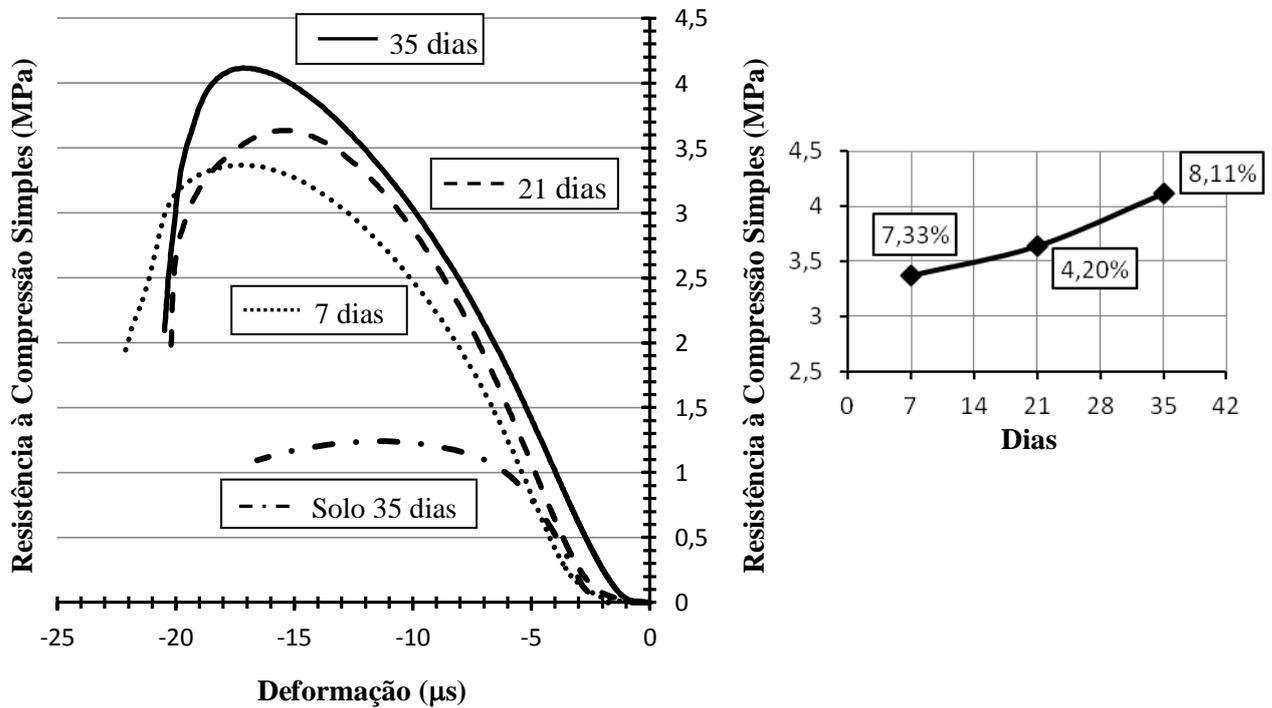


Figura 31. Tensão-deformação dos compósitos com solo/CIM, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.

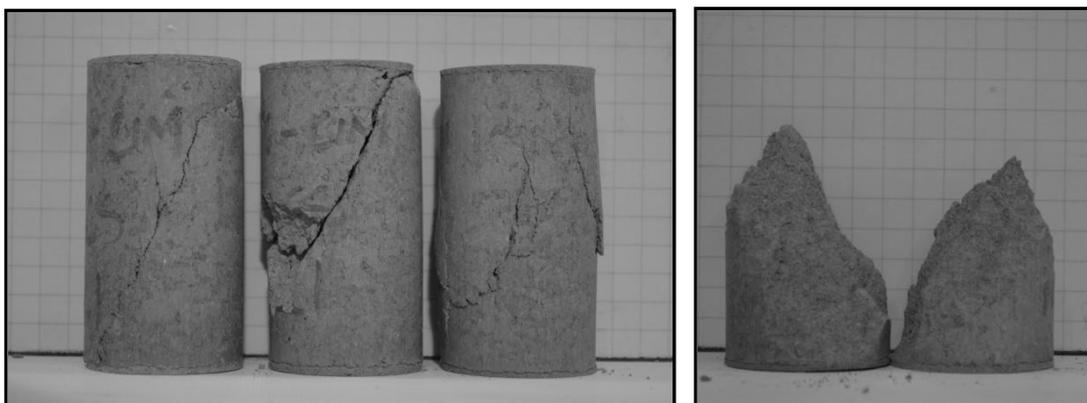


Figura 32. Corpos de prova solo/CIM.

Na tabela 10 são apresentados os valores correspondentes à tensão de ruptura, deformação, módulo de elasticidade, coesão e ângulo de atrito interno dos compósitos do solo estabilizado com cimento. Comparando-se o comportamento do solo puro com o compósito com adição de cimento, observou-se o aumento da

coesão de 204,5%, 231,3% e 267,5% aos 7, 21 e 35 dias, respectivamente, e o ângulo de atrito, aumentou em média 25%. O aumento da coesão, incluindo o aumento do ângulo de atrito interno com a adição de cimento (tabela 11) foi observado nos estudos de Prietto (1995, apud ROHLFES Jr., 1996). Lade et al. (1990, apud CRUZ, 2008) comentam que o efeito da cimentação é de aumentar a coesão juntamente com o ângulo de atrito.

Akinmusuru (1987, apud CRUZ, 2008) observou que a coesão aumenta com o tempo de cura e com a quantidade de cimento adicionada na mistura. O autor explica que, este aumento da coesão com o período de cura, está relacionada com a hidratação do cimento, observando ganhos de 7 a 8 vezes em corpos de prova de 7 a 28 dias.

Pitta (1995, apud FERREIRA, 2003) comenta que nos solos finos, os mecanismos de estabilização levam ao surgimento de matrizes hexagonais, similares a um favo de mel, geradas pelas ligações químicas entre as partículas de solos e os grãos de cimento. A matriz envolve fortemente as partículas impedindo o deslizamento de umas sobre as outras, ou seja, aumenta a resistência ao cisalhamento.

Tabela 10. Tensão de ruptura, deformação, módulo de elasticidade, coesão e ângulo de atrito interno dos compósitos com solo estabilizados com cimento e do corpo de prova de referência (solo).

	Solo/CIM			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	3,36	3,63	4,11	1,24
Deformação (μ s)	17,17	15,52	17,15	11,53
Módulo de Elasticidade (GPa)	4,17	4,28	4,30	3,50
Coesão (kPa)	601,2	653,9	725,5	197,4
Ângulo de atrito interno	50°27'	50°23'	51°05'	40°08'

Tabela 11. Comparação entre o ângulo de atrito interno e coesão dos compósitos solo/CIM com cimento com dados da literatura.

	Ângulo de atrito (graus)	Coesão (kPa)
Solo	40	197,7
Solo + 6% de cimento	51	725,5
Solo*	34	12,2
Solo + 5% de cimento*	44	123
Solo + 7% de cimento*	49	205

* Rohlfs Jr., 1996

A figura 33 ilustra o comportamento tensão deformação do compósito solo/PVA50. Pode-se observar que o aglomerante aumentou a capacidade de deformação da matriz, principalmente nas primeiras idades, atribuindo ductilidade e acrescentando na capacidade de deformação pós-fissuração (149% em comparação ao compósito solo/CIM). Ressalta-se o crescimento da resistência à compressão simples concomitantemente ao tempo de cura, porém, os valores máximos de resistências obtidos não são suficientes para o mínimo exigido por norma (ABNT, 1984e), que é de 2 MPa. Na figura 34 pode-se observar os corpos de prova após o ensaio.

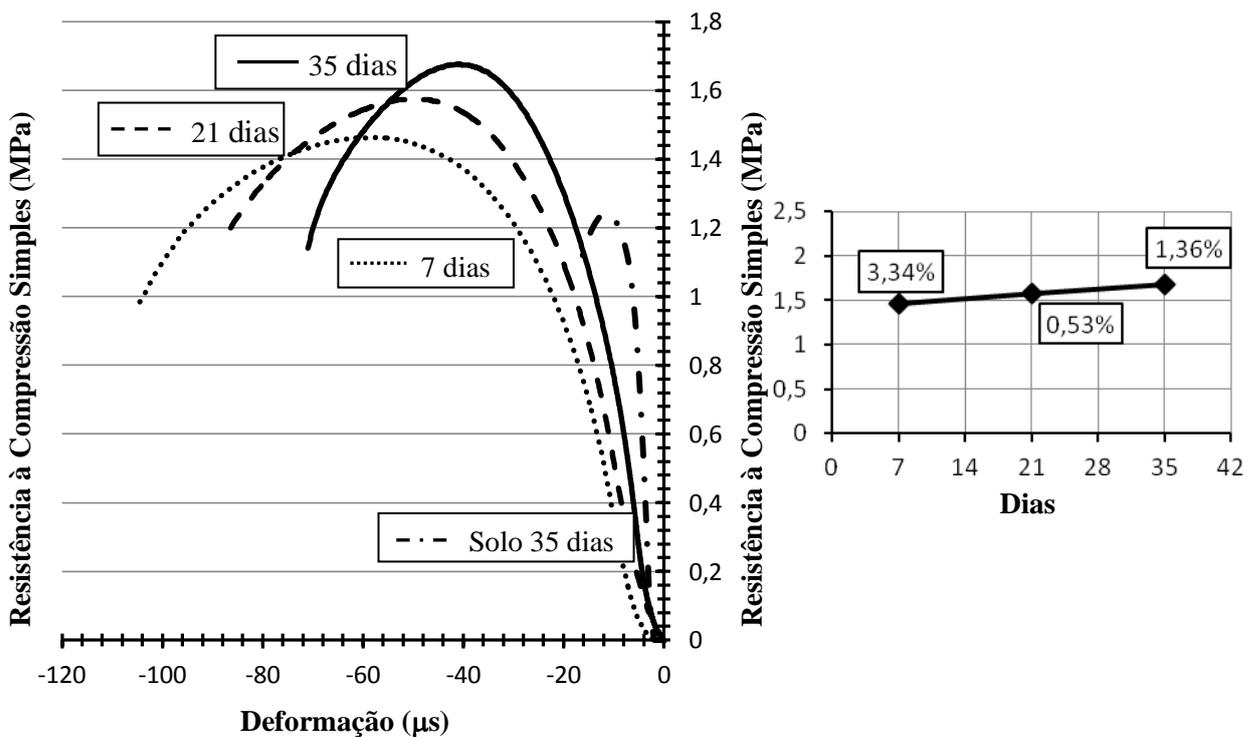


Figura 33. Tensão-deformação dos compósitos com solo/PVA50, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.



Figura 34. Corpos de prova solo/PVA50, aos 7, 21 e 35 dias.

Os valores correspondentes à tensão de ruptura, deformação, módulo de elasticidade, coesão e ângulo de atrito interno dos compósitos do solo estabilizado com PVA50, são apresentados na tabela 12. Comparando-se o comportamento do solo puro com o solo/PVA50, observou-se o aumento médio da coesão de 54% e de 22,5% do ângulo de atrito, para os espécimes ensaiados aos 35 dias.

Tabela 12. Tensão de ruptura, deformação e módulo de elasticidade dos compósitos solo/PVA50 e do corpo de prova de referência (solo).

	Solo/PVA50			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	1,46	1,57	1,67	1,24
Deformação (μs)	56,84	48,23	38,71	11,53
Módulo de Elasticidade (GPa)	0,74	0,73	1,04	3,50
Coesão (kPa)	274	286,5	303,9	197,4
Ângulo de atrito interno	48°29'	49°40'	50°09'	40°08'

Conforme observado pela curva tensão/deformação (figura 35), a matriz estabilizada com PVA70, obteve ganho crescente de resistência à compressão simples com o progresso do tempo de cura. O corpo de prova apresentou comportamento dúctil e tenacidade (174% em relação ao compósito solo/CIM). Cabe ressaltar que a máxima tensão à compressão está abaixo do recomendado por norma. Na figura 36 pode-se observar o compósito após o ensaio.

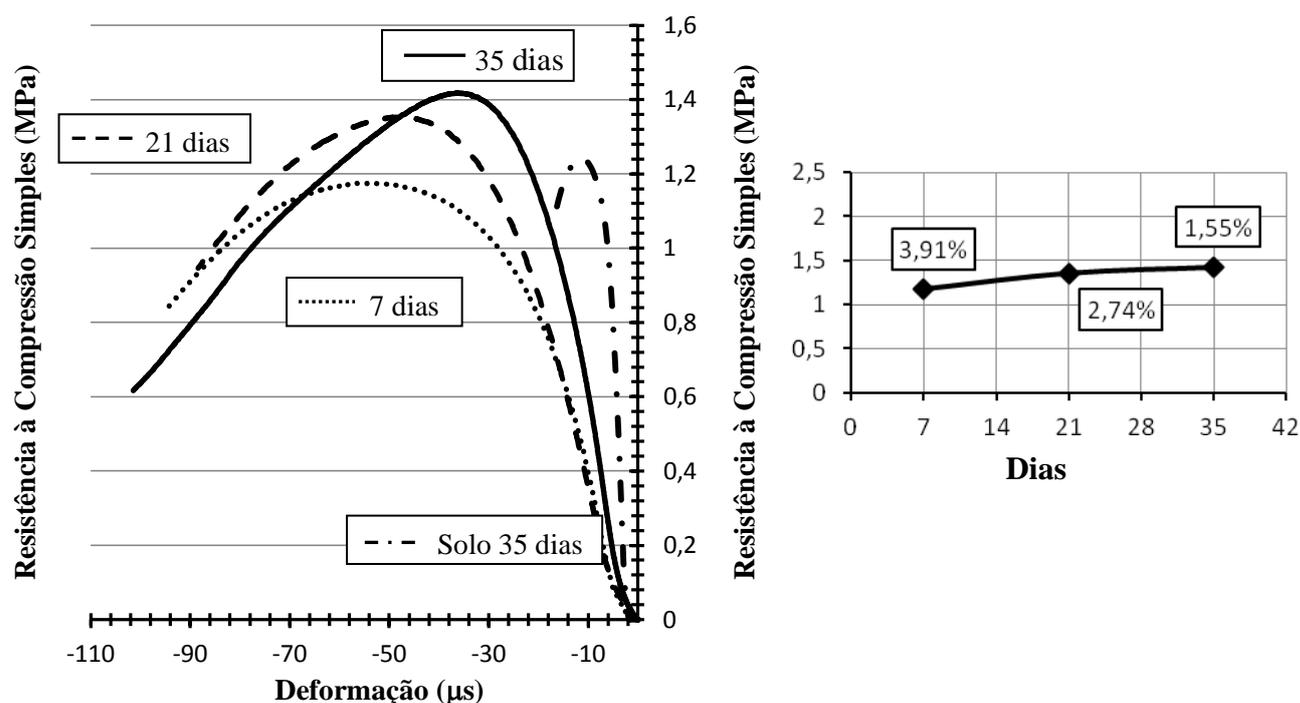


Figura 35. Tensão-deformação dos compósitos com solo/PVA70, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.



Figura 36. Corpos de prova solo/PVA70, aos 7, 21 e 35 dias.

Na tabela 13 são apresentados os valores correspondentes à tensão de ruptura, deformação, módulo de elasticidade, coesão e ângulo de atrito interno dos compósitos do solo/PVA70. Comparando-se o comportamento do solo puro com o espécime com PVA70, observou-se um aumento médio de 33% da coesão e de 22,3% do ângulo de atrito. Em relação a coesão do compósito, houve o aumento concomitantemente ao período de cura, relacionado à evolução do enrijecimento do aglomerante.

Tabela 13. Tensão de ruptura, deformação e módulo de elasticidade dos compósitos com solo estabilizados com PVA70 e do corpo de prova de referência (solo).

	Solo/PVA70			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	1,17	1,35	1,42	1,24
Deformação (μ s)	56,48	49,49	36,39	11,53
Módulo de Elasticidade (GPa)	0,64	0,58	0,88	3,50
Coesão (kPa)	213,8	235,8	262,4	197,4
Ângulo de atrito interno	49°43'	50°52'	49°10'	40°08'

As curvas tensão deformação dos compósitos solo/RPM estão ilustradas na figura 37. Pode-se observar o crescimento progressivo da resistência com o avanço do tempo de cura. O aglomerante polimérico conferiu a matriz de solo, originalmente frágil, a capacidade de grandes deformações e absorção de energia após a ruptura (354% em comparação ao compósito solo/CIM). Cabe ressaltar que os níveis de resistência ultima estão acima do requerido por norma (ABNT, 1984e). Os corpos de prova, após os ensaios, podem ser observados na figura 38.

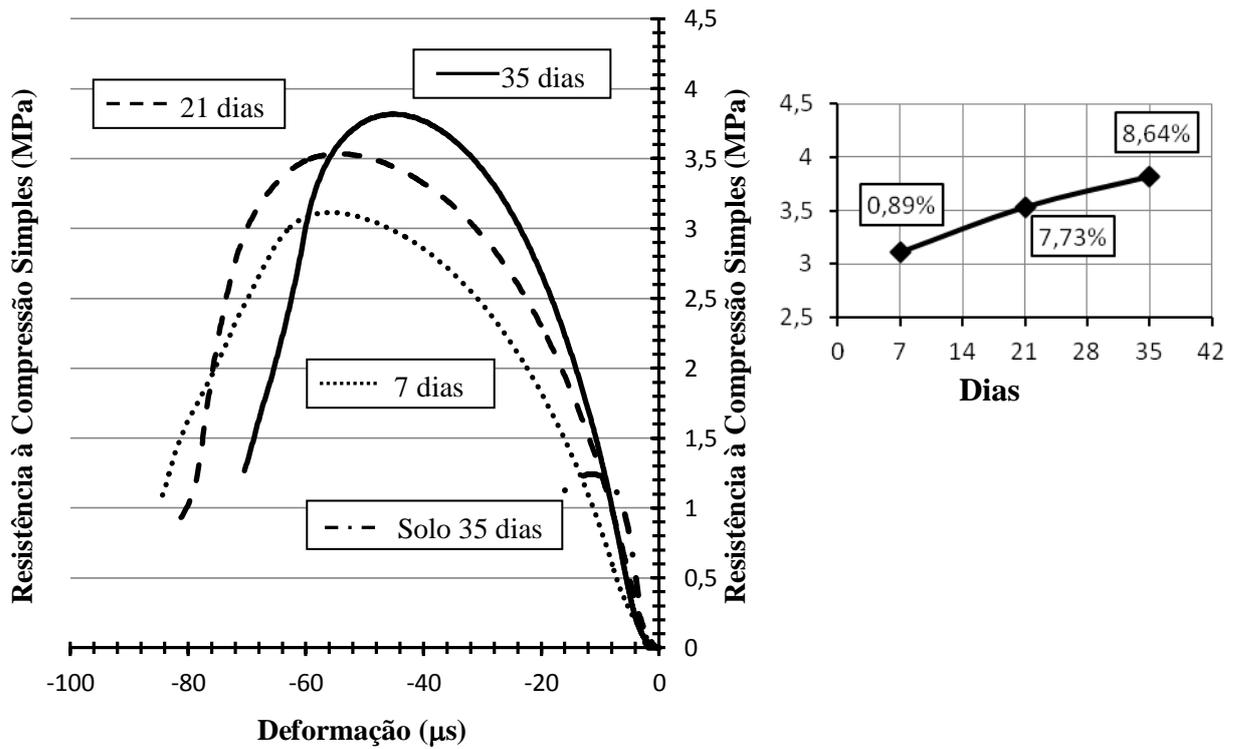


Figura 37. Tensão-deformação dos compósitos com solo/RPM, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.



Figura 38. Corpos de prova solo/RPM, aos 7, 21 e 35 dias.

Os valores correspondentes à tensão de ruptura, deformação, módulo de elasticidade, coesão e ângulo de atrito interno dos compósitos do solo estabilizado com RPM, são apresentados na tabela 14. O aglomerante aumentou em média 300% a coesão do solo, com crescimento ascendente da coesão com o período de cura. O ângulo de atrito interno aumento, em média, 10% em relação ao solo puro.

Tabela 14. Tensão de ruptura, deformação e módulo de elasticidade dos compósitos com solo estabilizados com RPM e do corpo de prova de referência (solo).

	Solo/RPM			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	3,11	3,53	3,82	1,24
Deformação (μ s)	55,94	52,69	45,31	11,53
Módulo de Elasticidade (GPa)	1,18	1,49	1,81	3,50
Coesão (kPa)	665,9	722	786	197,4
Ângulo de atrito interno	43°30'	45°13'	45°16'	40°08'

A figura 39 ilustra as curvas tensão-deformação dos compósitos estabilizados com cimento, PVA e RPM, aos 35 dias. Observa-se que a adição da RPM na matriz de solo, acresceu na capacidade resistente do compósito com resistência próxima ao espécime de referência (solo/CIM), além de atribuir ductilidade e tenacidade a matriz.

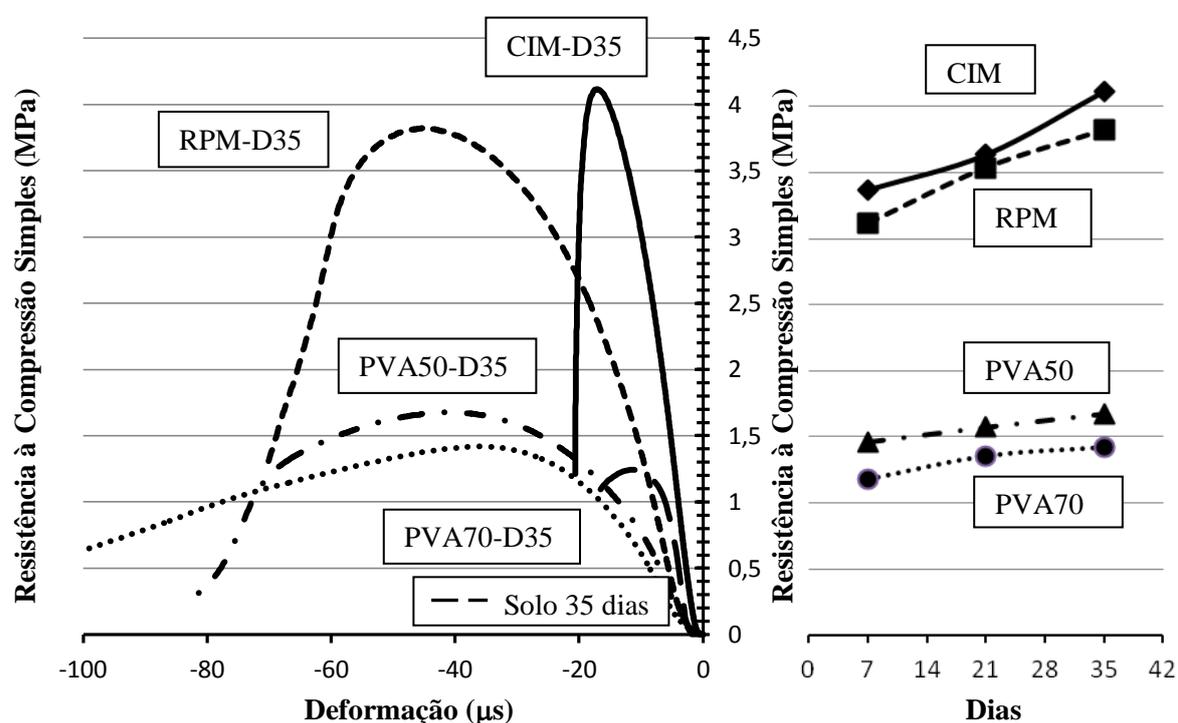


Figura 39. Tensão-deformação dos compósitos com solo estabilizado com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM.

Os compósitos com adições de PVA demonstraram resistências à compressão simples abaixo do mínimo exigido por norma. As diluições de 50% de PVA proporcionaram à matriz de solo resistências superiores às diluições de 70%. Embora o resultado do uso do aglomerante, a princípio, não tenha sido satisfatório (baixa resistência), não se descarta o uso deste aglutinante desde que

outros processos de estabilização, a exemplo da estabilização física com adições de fibras vegetais, possam elevar a resistência do compósito (PINTO, 2008). É evidente o comportamento dúctil e a tenacidade proporcionado pelo uso desta resina. Quanto a absorção de energia pós-fissuração, aos 35 dias, houve um aumento aproximado de 149% do solo/PVA70, 174% do solo/PVA50 e 354% do solo/RPM, em relação ao corpo de prova de referência (solo/CIM). A tenacidade foi obtida calculando-se a área sob a curva tensão x deformação. As curvas de tensão x deformação (figura 40) dos compósitos solo/CIM e solo/RPM foram comparados aos dados encontrados na literatura (PINTO, 2008; ACHENZA e FENU, 2006). Na tabela 15 são comparados as tensões de ruptura e módulos de elasticidade com os dados da literatura.

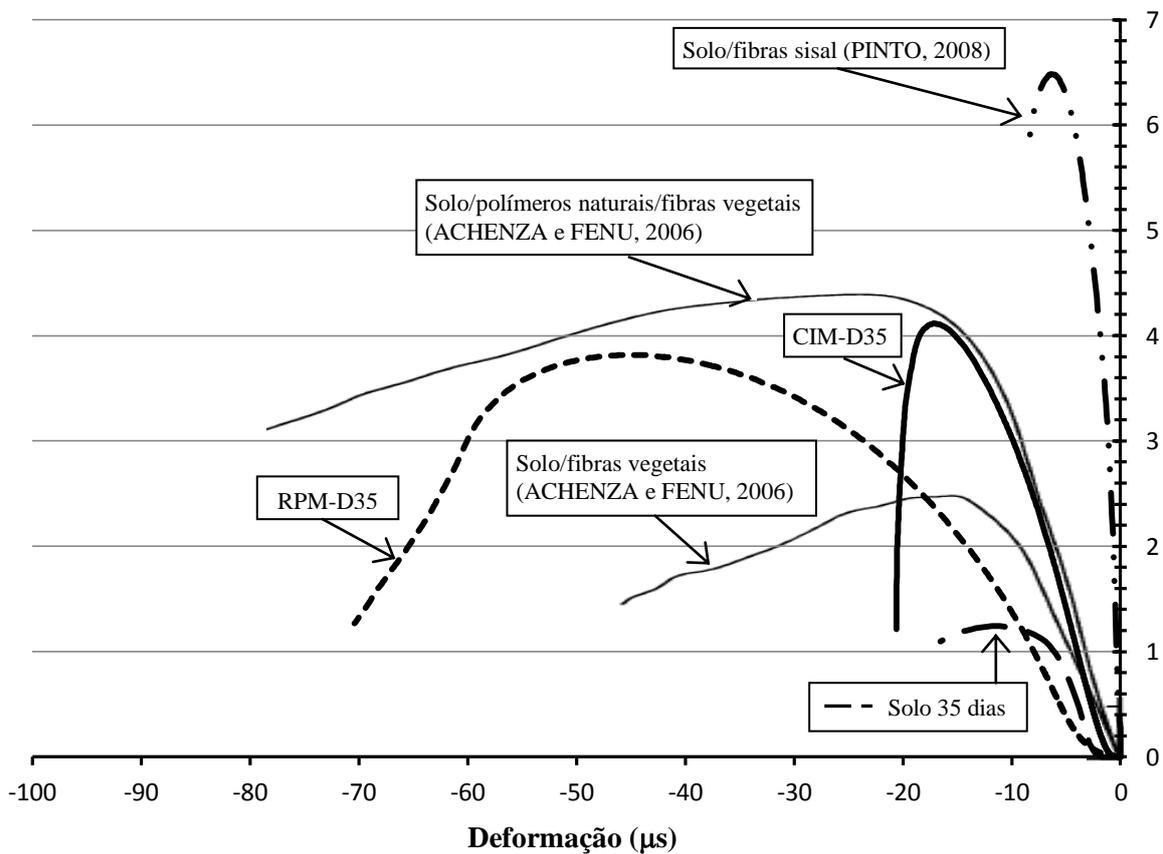


Figura 40. Tensão-deformação dos compósitos com solo/CIM e solo/RPM.

Tabela 15. Resistência à compressão simples dos compósitos com solo estabilizados com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM.

		Compressão Simples				
		Este trabalho		Pinto (2008)		Rolim (1999)
Dias		Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de ruptura (MPa)
35	Solo	1,25 (2,83)	3,50	1,45 (3,81)	2,35	1,27
7	CIM	3,366 (7,33)	4,17	3,34 (3,71)	--	--
	RPM	3,114 (0,89)	1,18	--	--	--
	PVA50	1,464 (3,34)	0,74	--	--	--
	PVA70	1,176 (3,91)	0,64	--	--	--
	15% água de cola	--	--	--	--	1,18
21	CIM	3,635 (4,20)	4,28	3,56 (2,63)	--	--
	RPM	3,536 (7,73)	1,49	--	--	--
	PVA50	1,576 (0,53)	0,73	--	--	--
	PVA70	1,353 (2,74)	0,58	--	--	--
	15% água de cola	--	--	--	--	1,11
35	CIM	4,116 (8,11)	4,30	3,89 (13,47)	4,24	--
	RPM	3,820 (8,64)	1,81	--	--	--
	PVA50	1,677 (1,36)	1,04	--	--	--
	PVA70	1,418 (1,55)	0,88	--	--	--
	15% água de cola	--	--	--	--	1,15

* os valores entre () representam o coeficiente de variação (CV), em %.

4.4.

Resistência à tração por compressão diametral

Nos ensaios de compressão diametral do compósito de referência, observou-se a evolução ascendente, embora pouco significativa, da resistência com o aumento do tempo de cura (figura 41). Em média, a resistência a compressão diametral (tração indireta) equivaleu a 12,75% da resistência a compressão simples. Fitzmaurice (1958, apud KERALI, 2001) comenta que a resistência à tração de um bloco é cerca de 90% inferior a sua resistência à compressão simples, este mesmo comportamento foi verificado por Pinto (2008). O autor observou uma resistência à tração por compressão diametral equivalente a 10% da resistência à compressão simples. Na tabela 16 são apresentados os valores da tensão e deformação de ruptura dos compósitos. Os corpos de prova após os ensaios estão representados na figura 42. Comparando-se as curvas do solo/CIM com o solo sem adições, observou-se o enrijecimento da matriz com a adição do

aglomerante. Quando se analisou as misturas solo/CIM para as idades de 7, 21 e 35 dias, não se observou significativas alterações na rigidez dos compósitos.

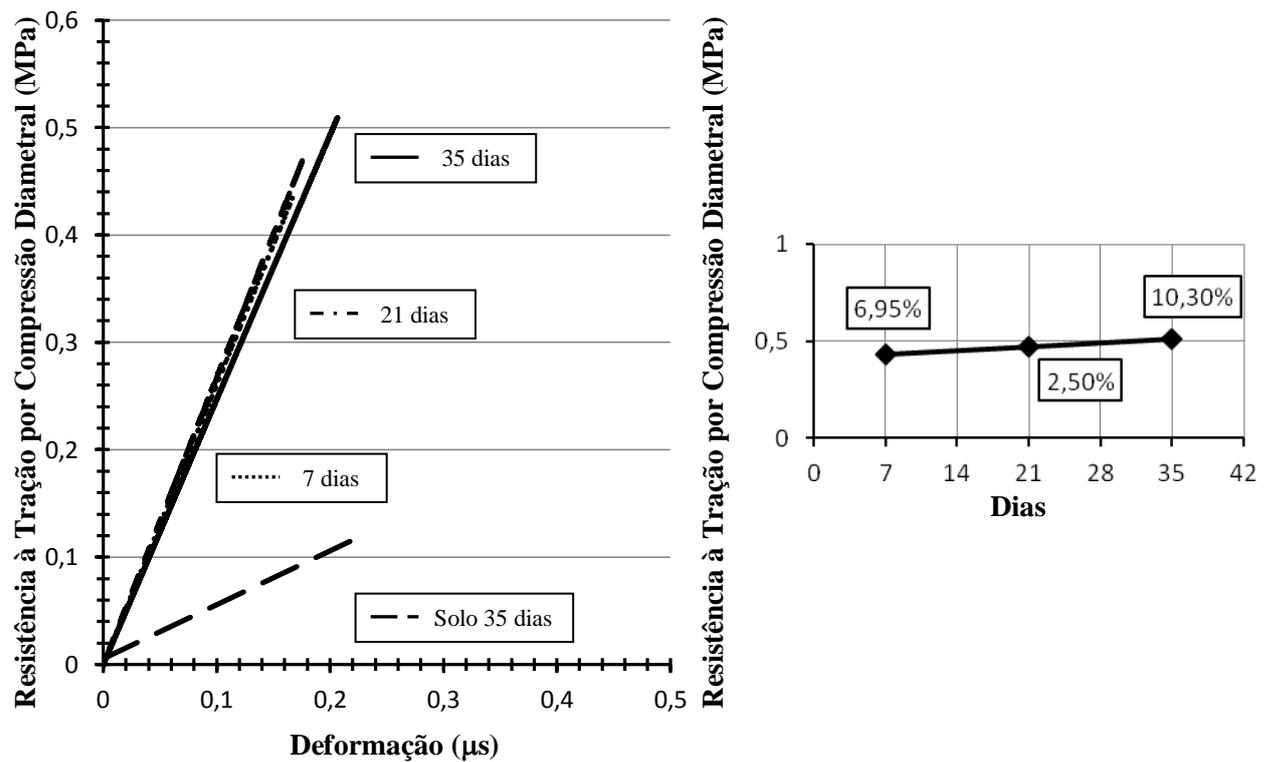


Figura 41. Tensão-deformação dos compósitos com solo/cimento, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.

Tabela 16. Tensão de ruptura e deformação dos compósitos com solo estabilizados com cimento (solo/CIM) e do solo (sem adição de aglomerantes).

	Solo/CIM			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	0,435	0,471	0,509	0,126
Deformação (µs)	0,164	0,176	0,206	0,222

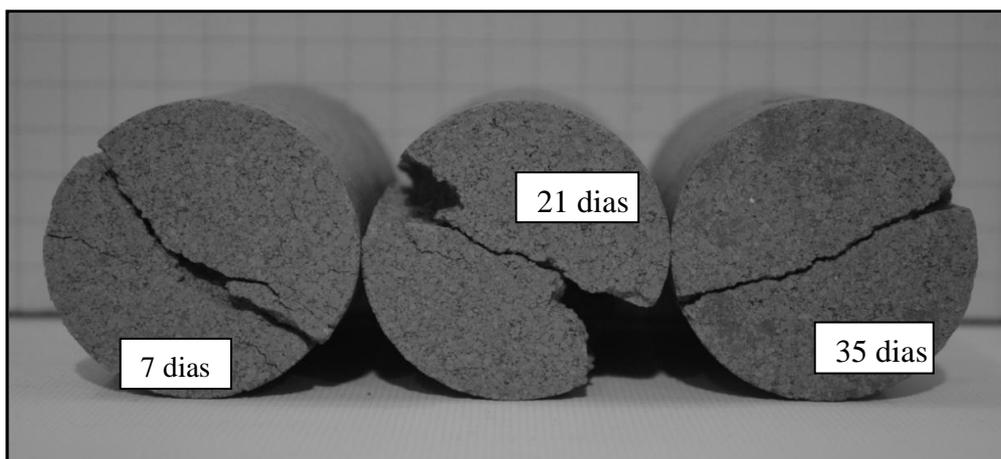


Figura 42. Corpos de prova solo/CIM, aos 7, 21 e 35 dias.

O comportamento à compressão diametral dos compósitos solo/PVA50, diluição de 50% em água, está demonstrado na figura 43. Para todas as idades não se observou acréscimos significativos de resistência, embora apresente um aumento da rigidez para os corpos de prova ensaiados aos 35 dias, os espécimes ensaiados aos 7 e 21 dias apresentaram, praticamente, a mesma resistência e rigidez. A resistência à tração por compressão diametral, em média, foi de 13,9% da resistência a compressão simples. Em comparação aos compósito de referência (Solo/CIM), observou-se uma redução de 113% na resistência. O PVA manteve o compósito inteiro mesmo após a ruptura (figura 44). Na tabela 17 são apresentados os valores da tensão e deformação de ruptura dos compósitos solo/PVA50 e solo (sem adição de aglomerante).

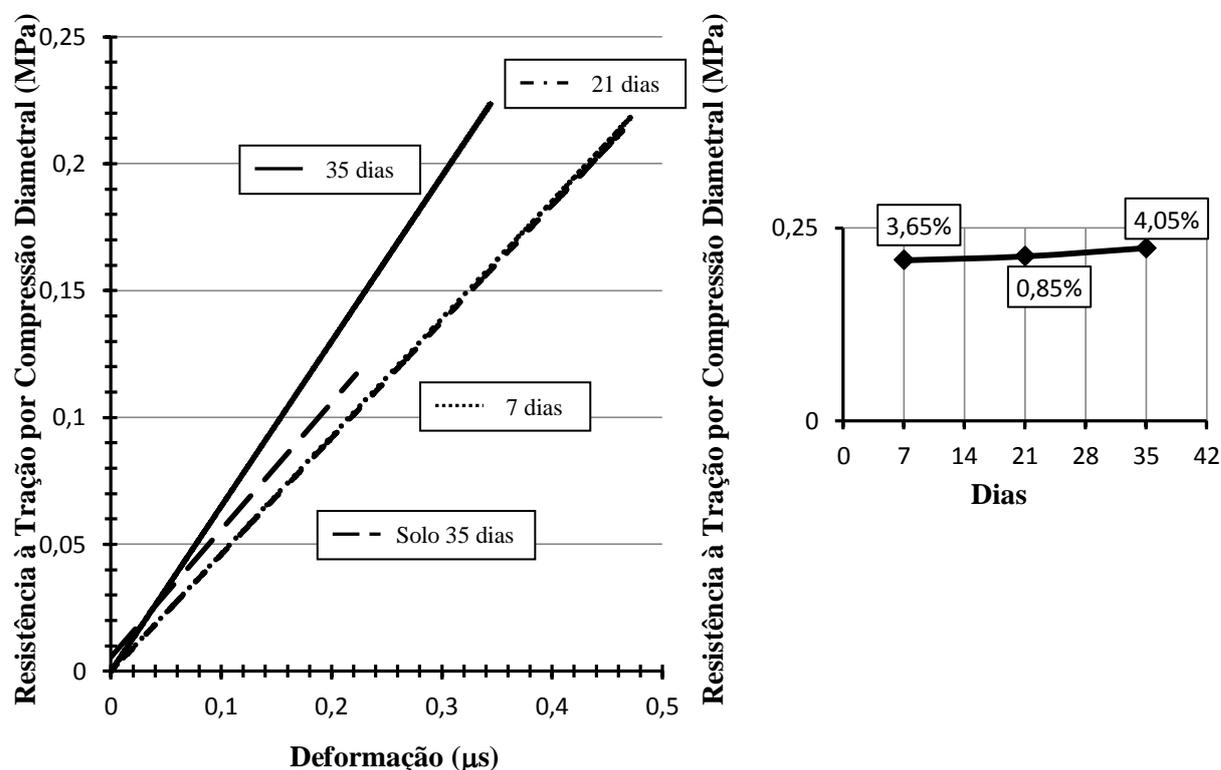


Figura 43. Tensão-deformação dos compósitos com solo/PVA50, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.

Tabela 17. Tensão de ruptura e deformação dos compósitos com solo estabilizados com PVA50 e do solo (sem adição de aglomerantes).

	Solo/PVA50			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	0,208	0,213	0,223	0,126
Deformação (μs)	0,464	0,471	0,343	0,222

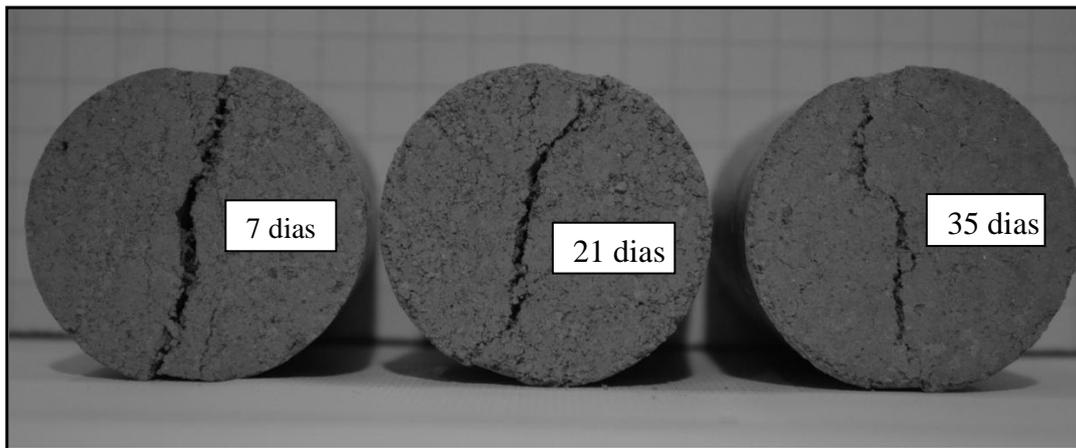


Figura 44. Corpos de prova solo/PVA50, aos 7, 21 e 35 dias.

O comportamento do compósito solo/PVA70, submetido ao ensaio de tração por compressão diametral, segue conforme ilustrado na figura 45. Observou-se um discreto aumento da resistência com o avanço do período de cura. Quando comparado ao espécime de referência (Solo/CIM) constata-se uma redução de 167% na sua resistência, em relação ao Solo/PVA50, essa redução foi de 26%.

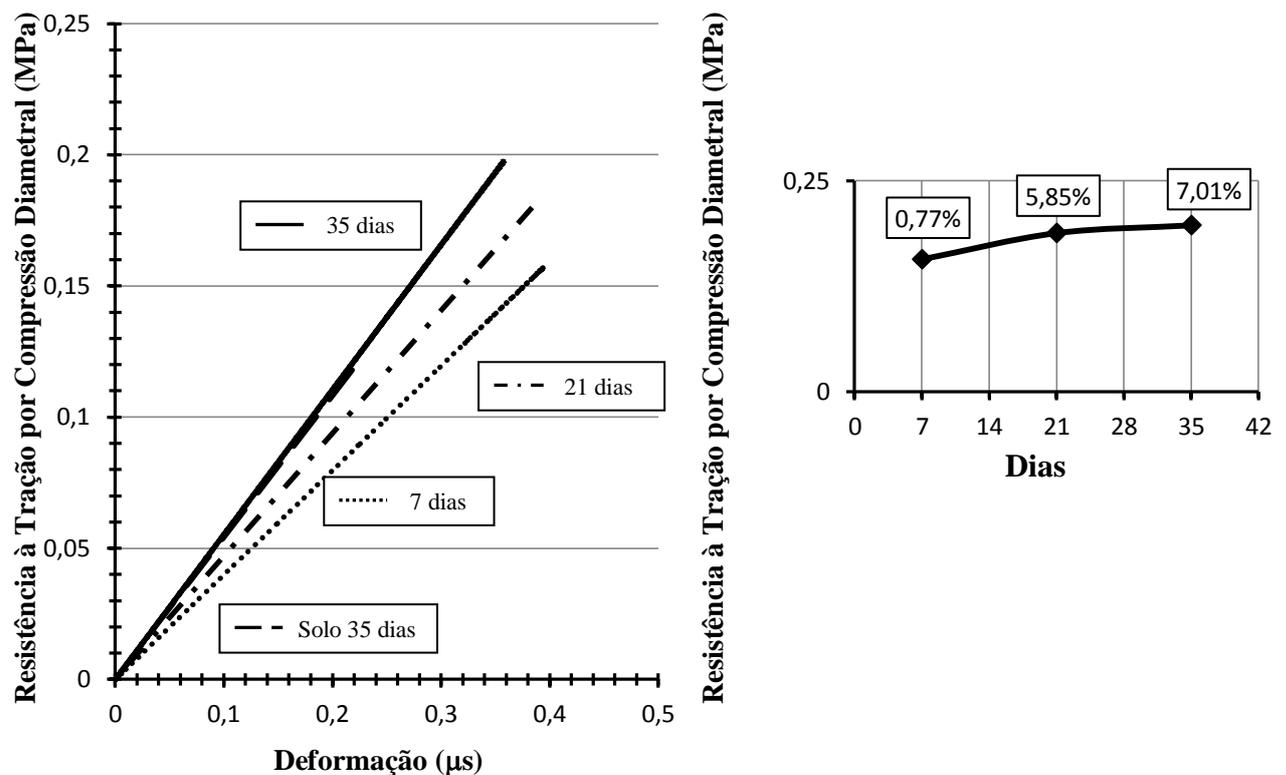


Figura 45. Tensão-deformação dos compósitos com solo/PVA70, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.

Na figura 45, observou-se uma queda da rigidez do compósito solo/PVA70 em comparação ao solo sem adição de aglomerante para as idades de 7 e 21 dias, este mesmo comportamento foi verificado para a mistura solo/PVA50. Os espécimes ensaiados aos 35 dias apresentaram rigidez equivalente ao encontrado para o solo sem adições, este comportamento pode ser justificado pelo aumento do período de cura do compósito e por alterações na coesão e ângulo de atrito interno do solo. Após a ruptura do compósito o aglomerante manteve unido as partes rompidas (figura 46). Os valores da tensão e deformação de ruptura dos compósitos solo/PVA70 e solo (sem adição de aglomerante) são apresentados na tabela 18.

Tabela 18. Tensão de ruptura e deformação dos compósitos com solo estabilizados com PVA70 e do solo (sem adição de aglomerantes).

	Solo/PVA70			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	0,157	0,170	0,197	0,126
Deformação (μ s)	0,394	0,379	0,357	0,222

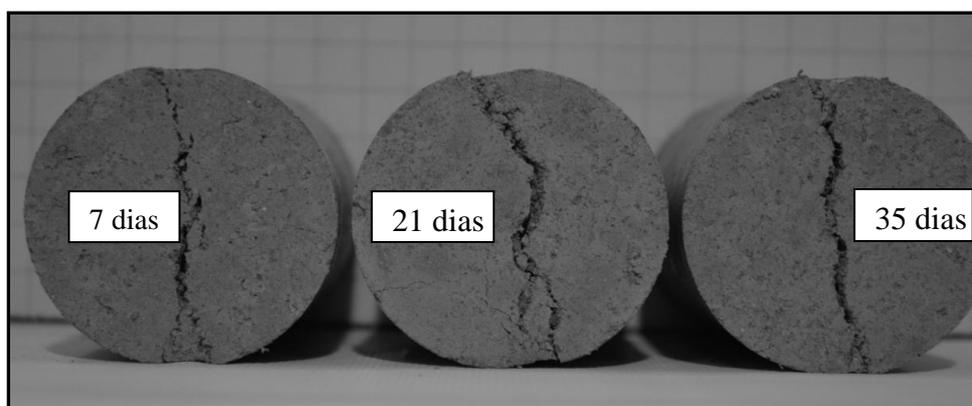


Figura 46. Corpos de prova solo/PVA70, aos 7, 21 e 35 dias.

O comportamento à tração por compressão diametral do solo/RPM, pode ser observado na figura 47. Em média a resistência a tração representou 16,5% da resistência à compressão simples. A resistência à compressão diametral do solo/RPM foi 29,6% maior, comparado ao espécime de referência (solo/CIM). Com o avanço do período de cura houve um crescimento, pouco significativo, da resistência concomitante ao aumento da rigidez do compósito. Mesmo após a ruptura os espécimes permaneceram unidos (figura 48). Na tabela 19 são

apresentados os valores da tensão e deformação de ruptura dos compósitos solo/RPM e solo (sem adição de aglomerante).

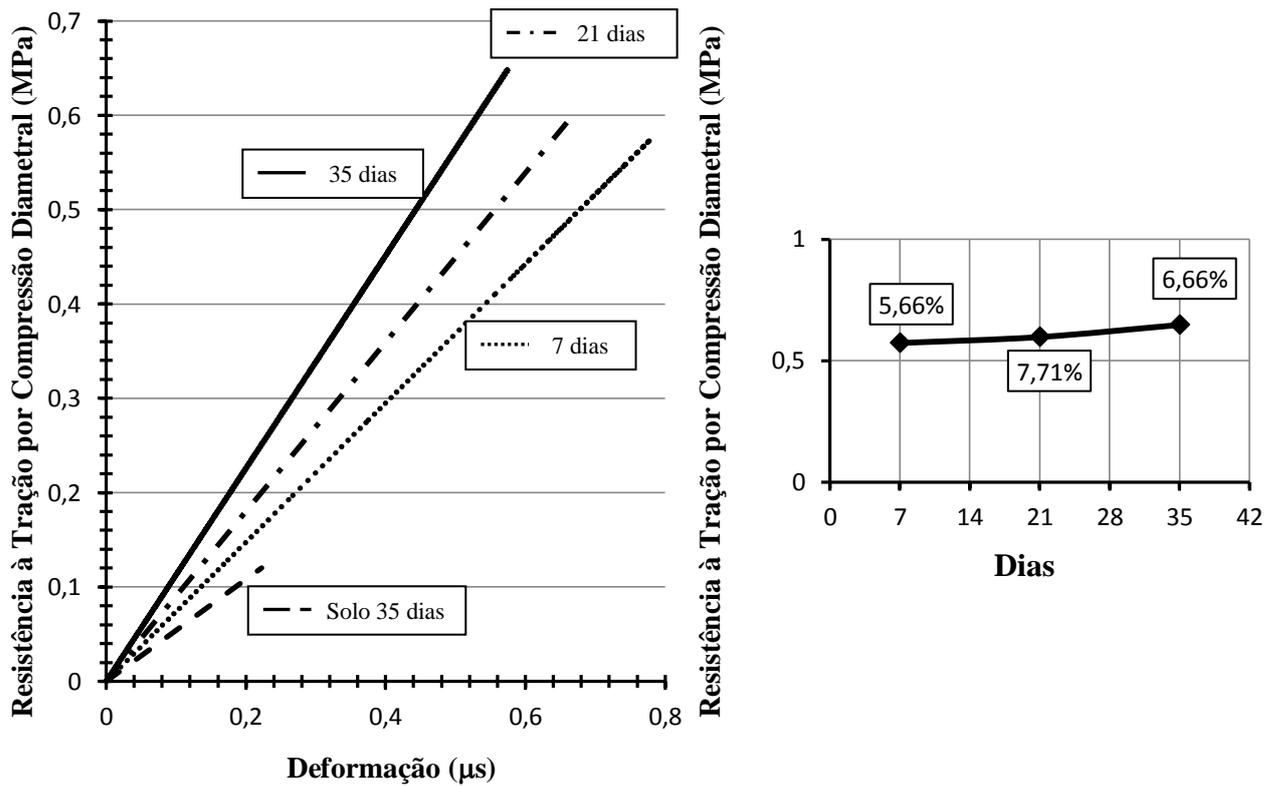


Figura 47. Tensão-deformação dos compósitos com solo/RPM, nas idades de 7, 21 e 35 dias. Os valores em porcentagem equivalem ao coeficiente de variação.

Tabela 19. Tensão de ruptura e deformação dos compósitos com solo estabilizados com RPM e do solo (sem adição de aglomerantes).

	Solo/RPM			Solo
	7 dias	21 dias	35 dias	35 dias
Tensão de ruptura (MPa)	0,573	0,598	0,648	0,126
Deformação (μs)	0,775	0,641	0,574	0,222

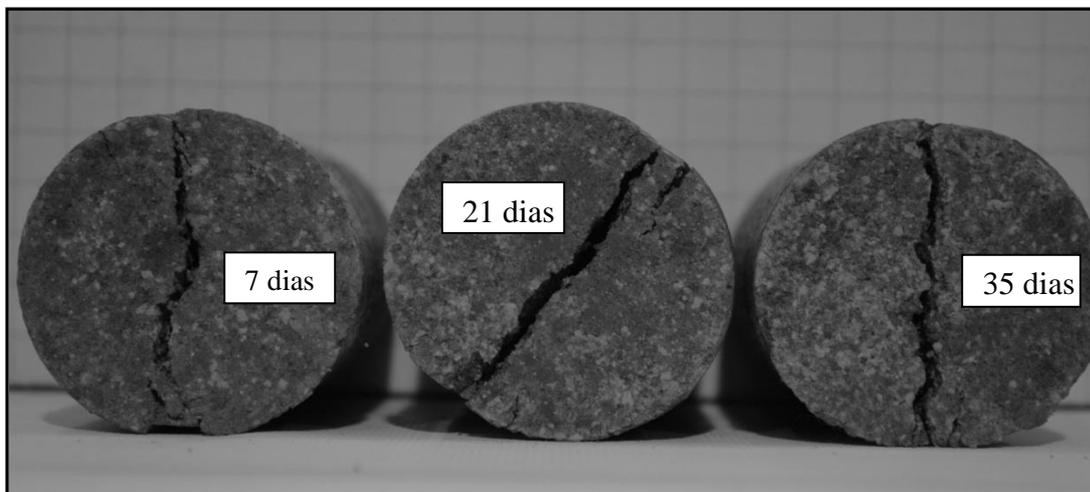


Figura 48. Corpos de prova solo/RPM, aos 7, 21 e 35 dias.

Na figura 49, as curvas de tensão-deformação dos compósitos estabilizados com CIM, PVA e RPM, aos 35 dias, são comparadas. Observa-se uma maior rigidez da matriz estabilizada com cimento, seguida pela matriz com RPM, PVA50 e PVA70. Em relação a resistência à compressão diametral o solo/RPM atingiu 0,648 MPa, 27,3% maior que o corpo de prova de referência (solo/CIM). A tensão de ruptura do compósito solo/PVA70, aos 35 dias, foi menor do que a resistência do compósito solo/PVA50, aos 7 dias, contrariamente ao que se previa, o aumento do proporção de PVA não aumentou a resistência mecânica do compósito. Todos os aglomerantes estudados proporcionaram aumento de resistência concomitantemente com a evolução do tempo de cura.

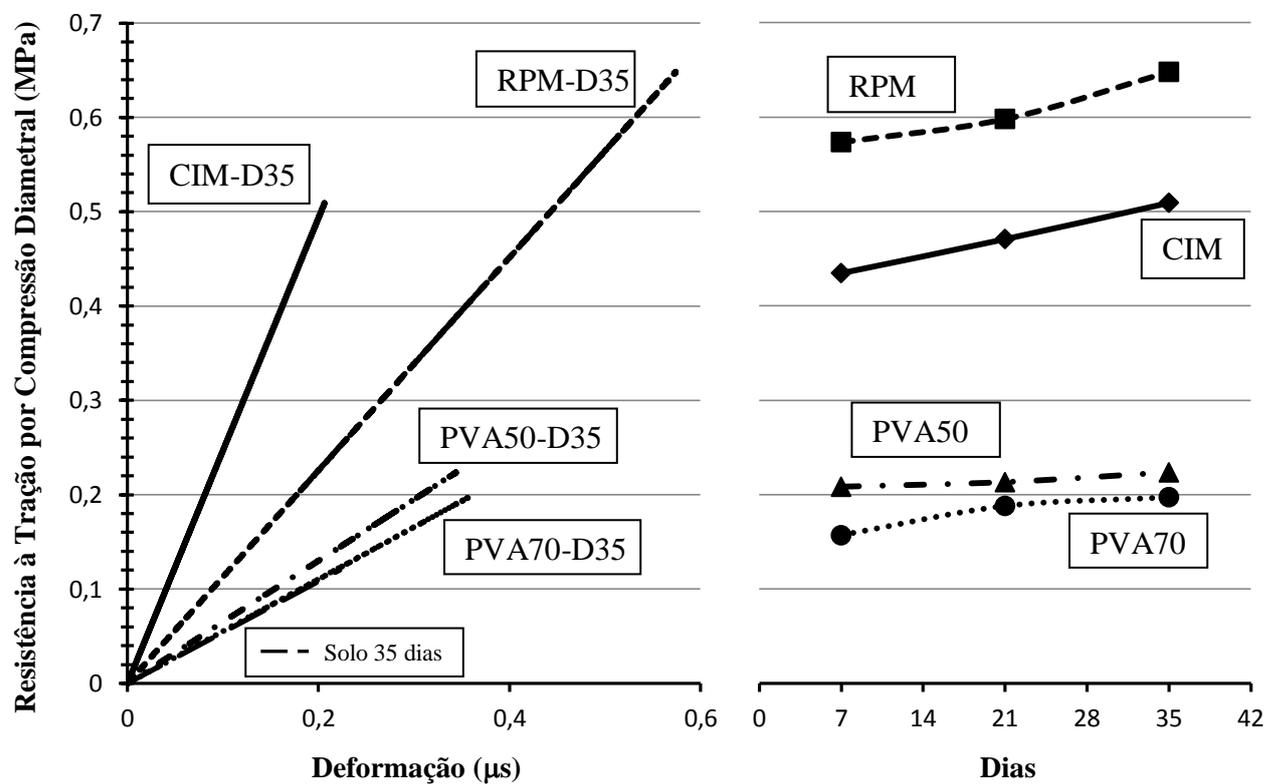


Figura 49. Tensão-deformação dos compósitos solo/CIM, solo/PVA50, solo/PVA70, solo/RPM e solo sem adição de aglomerante.

As curvas de tensão x deformação (figura 50) dos compósitos solo/CIM, solo/PVA50, solo/PVA70 e solo/RPM foram comparados aos dados encontrados na literatura (PINTO, 2008). Observou-se que todos os aglomerantes aumentaram a rigidez do solo, com exceção do PVA70 que manteve rigidez próxima ao solo sem adições. O cimento foi o aglomerante que apresentou os melhores resultados. A adição de PVA50 (50% de PVA e 50% de água) teve um ganho de rigidez, um pouco mais acentuado, quando comparado com a solução com 70% de PVA. O compósito com RPM apresentou melhores resultados quando comparado com o PVA, porém, com resultados inferiores ao solo/CIM (corpo de prova de referência) e aos dados da literatura (PINTO, 2008). Em termos de resistência à tração por compressão diametral, os compósitos com RPM apresentaram tensão de ruptura superiores aos demais aglomerantes (CIM, PVA50 e PVA70). Na tabela 20 são comparados as tensões de ruptura com os dados da literatura.

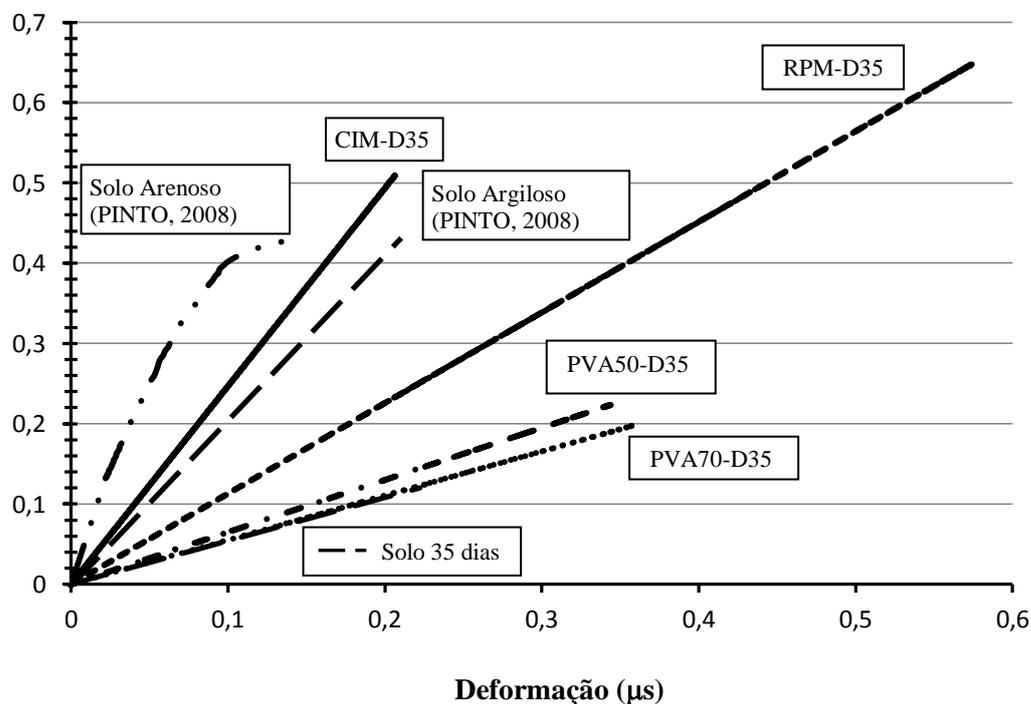


Figura 50. Tensão-deformação dos compósitos com solo argiloso estabilizados com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM.

Tabela 20. Resistência à tração por compressão diametral dos compósitos com solo estabilizados com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM.

		Tração por Compressão Diametral		
		Este trabalho	Pinto (2008)	Rolim (1999)
Dias		Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
35	Solo	0,122 (7,44)	0,145 (14,91)	0,299
7	CIM	0,435 (6,95)	0,355 (14,91)	--
	RPM	0,574 (5,66)	--	--
	PVA50	0,208 (3,65)	--	--
	PVA70	0,157 (0,77)	--	--
	15% água de cola	--	--	0,292
21	CIM	0,471 (2,50)	0,409 (15,22)	--
	RPM	0,598 (7,71)	--	--
	PVA50	0,213 (0,85)	--	--
	PVA70	0,188 (5,85)	--	--
	15% água de cola	--	--	0,355
35	CIM	0,509 (10,30)	0,421 (0,97)	--
	RPM	0,648 (6,66)	--	--
	PVA50	0,224 (4,05)	--	--
	PVA70	0,197 (7,01)	--	--
	15% água de cola	--	--	--

* os valores entre () representam o coeficiente de variação (CV), em %.

4.5. Ensaio de absorção por imersão

A figura 51 demonstra o comportamento do compósito solo/CIM quando imerso 24 horas em água. A variação volumétrica média com as idades de cura foi de 0,95% e a absorção de água manteve-se entre 23%. Os resultados permaneceram acima do sugerido pela norma NBR 8491 (ABNT, 1984e), que estabelece que a amostras ensaiadas de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 1984d) não devem apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

Tadege (2007) avaliando o efeito do aumento da quantidade de cimento sobre a capacidade de absorção de blocos de terra, observou índices de absorção de cerca de 16% para compósitos com 12% de cimento. O autor constatou que variações de 6-12% de cimento resultaram em uma reduções médias de 30% de absorção de água.

Pinto (2008) avaliou, entre outros, a influência da quantidade de cimento e adição de fibras vegetais (sisal e curauá) na absorção de água de corpos de prova confeccionados com solo arenoso e argiloso. O autor observou uma absorção média de 14%, para solo arenoso com adição de 6% de cimento, e absorção média de 20% para solo argiloso. A adição de fibras vegetais não influenciou na taxa de absorção de água dos compósitos. Silva e Akasaki (2000) avaliaram a absorção de água de compósitos solo/cal e solo/cal/resíduos. Os autores observaram índices de absorção de 16% para solo/cal e absorção acima de 20% para as misturas solo/cal/resíduos. Os valores de absorção de água obtidos, neste trabalho, são apresentados na tabela 21.

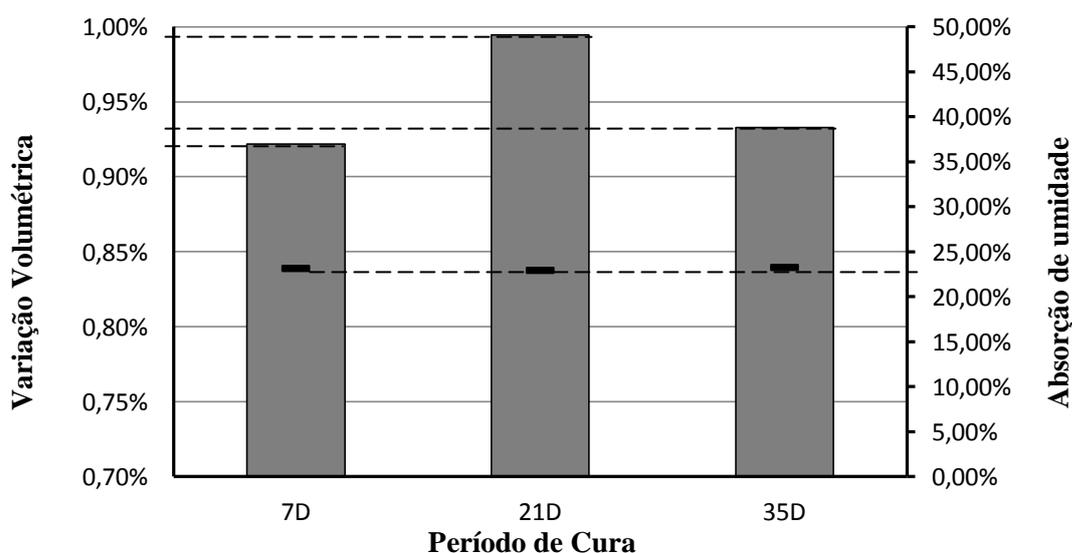


Figura 51. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/CIM, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

Tabela 21. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/CIM.

Dias	Variação Volumétrica	Absorção de Umidade			
		Máx	Mínimo	Média	CV
7D	0,92%	23,35%	22,95%	23,18%	0,89%
21D	0,99%	23,24%	22,68%	22,97%	1,22%
35D	0,93%	23,48%	23,07%	23,29%	0,90%

A variação volumétrica utiliza como referência o corpo de prova não saturado.

Os resultados da imersão das matrizes estabilizadas com PVA50 (figura 52) indicam uma absorção média de 28,8% e variação volumétrica média de 11,2%. Os índices estão acima do recomendado por norma. Os valores podem ser consultados na tabela 22.

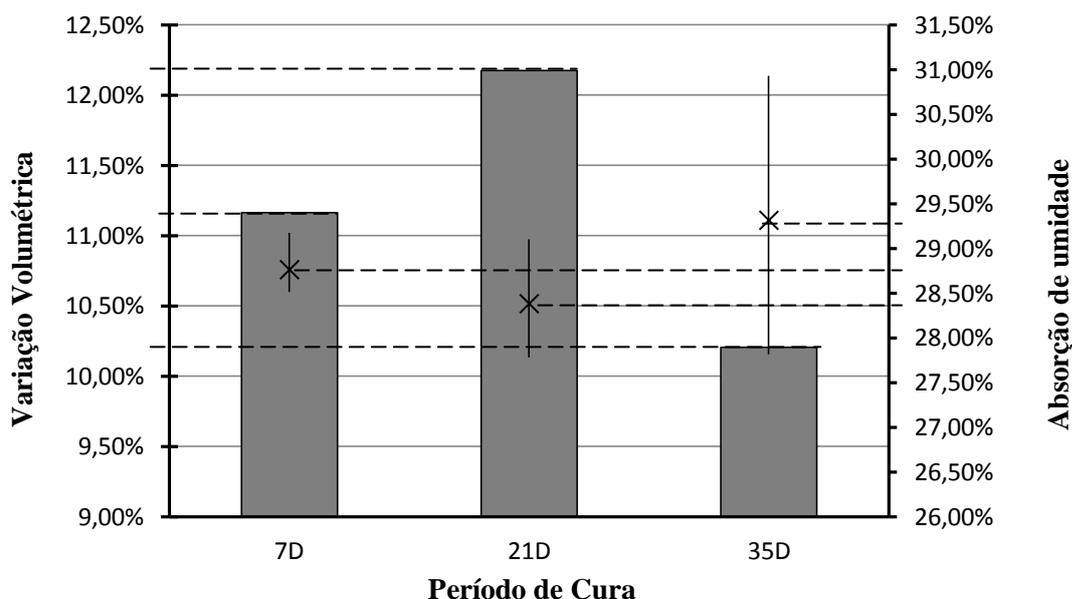


Figura 52. Variação volumétrica e taxa de absorção de umidade do solo/PVA50, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

Tabela 22. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/PVA50.

Dias	Variação Volumétrica	Absorção de Umidade			
		Máx	Mínimo	Média	CV
7D	11,16%	29,18%	28,51%	28,76%	1,25%
21D	12,18%	29,10%	27,78%	28,38%	2,36%
35D	10,21%	30,93%	27,82%	29,32%	5,32%

A variação volumétrica utiliza como referência o corpo de prova não saturado.

A matriz de solo estabilizada com PVA70 apresentou absorção de umidade média de 31,61% (Figura 53). A variação volumétrica média foi de 12%. Quando de compara com os compósitos com PVA50, observa-se um aumento médio da variação volumétrica de 7,5% e taxa de absorção de 9,7%. Os dados obtidos podem ser verificados na tabela 23. Os resultados indicam a inviabilidade do uso do PVA (tanto em diluições de 50% quanto de 70%) como aglomerante para blocos de terra comprimida (BTC), por apresentarem valores superiores ao recomendado por norma. Rolim (1999) observou índices de absorção de água entre 22,5-25% para a mistura solo argiloso/água de cola, a porcentagem de aglomerante utilizado foi de 15%.

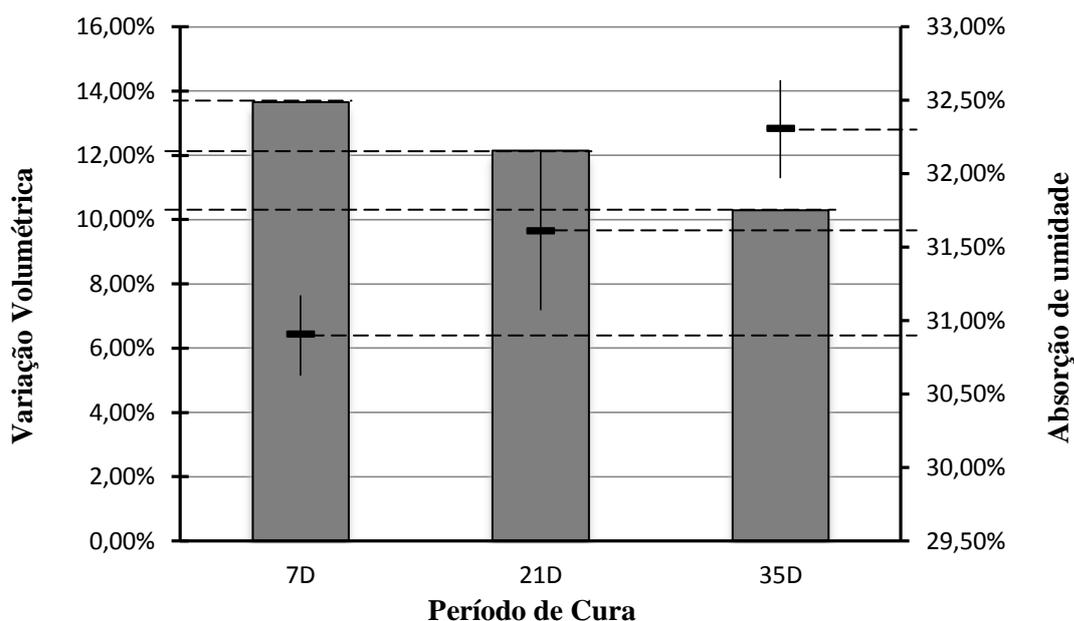


Figura 53. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/PVA70, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

Tabela 23. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/PVA70.

Dias	Variação Volumétrica	Absorção de Umidade			
		Máx	Mínimo	Média	CV
7D	13,65%	31,17%	30,62%	30,91%	0,89%
21D	12,13%	32,15%	31,07%	31,61%	2,42%
35D	10,29%	32,63%	31,97%	32,31%	1,03%

A variação volumétrica utiliza como referência o corpo de prova não saturado.

Os compósitos estabilizados com RPM (figura 54) apresentaram uma absorção média de 5% e variação volumétrica média de 2%. Observou-se que ao longo do período de cura houve a redução da variação volumétrica. Quanto a absorção de água, verificou-se uma tendência de redução com o avanço do período de cura, com exceção dos corpos de prova ensaiados aos 21 dias, em que se observa um aumento pouco significativo. Os valores podem ser consultados na tabela 24. A taxa de absorção ficou 400% abaixo do máximo recomendado por norma.

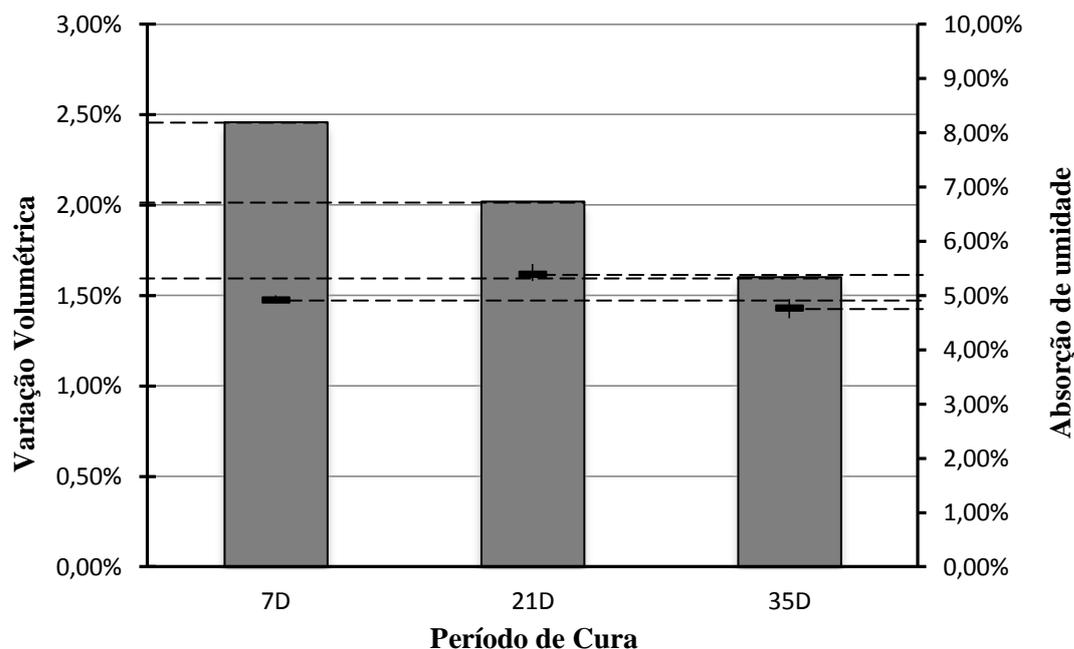


Figura 54. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/RPM, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

Tabela 24. Variação volumétrica e absorção de umidade do solo/RPM.

Dias	Variação Volumétrica	Absorção de Umidade			
		Máx	Mínimo	Média	CV
7D	2,46%	5,00%	4,87%	4,92%	1,39%
21D	2,02%	5,59%	5,27%	5,39%	3,12%
35D	1,60%	4,93%	4,58%	4,77%	3,74%

A variação volumétrica utiliza como referência o corpo de prova não saturado.

A variação volumétrica dos compósitos com o uso do cimento, PVA e RPM, imersos 24 horas na água, podem ser comparados na figura 55. Quanto à eficácia na estabilização do solo, o cimento apresentou melhores resultados, seguido da mamona e PVA. A figura 56 ilustra a taxa de absorção de umidade, demonstrando a potencialidade do uso do RPM na melhoria da durabilidade de matrizes de terra. Os corpos de prova com cimento e o PVA não atingiram o limite requerido por norma (ABNT, 1984e). O uso do RPM nas misturas, reduziu em 400% a absorção de água dos corpos de prova.

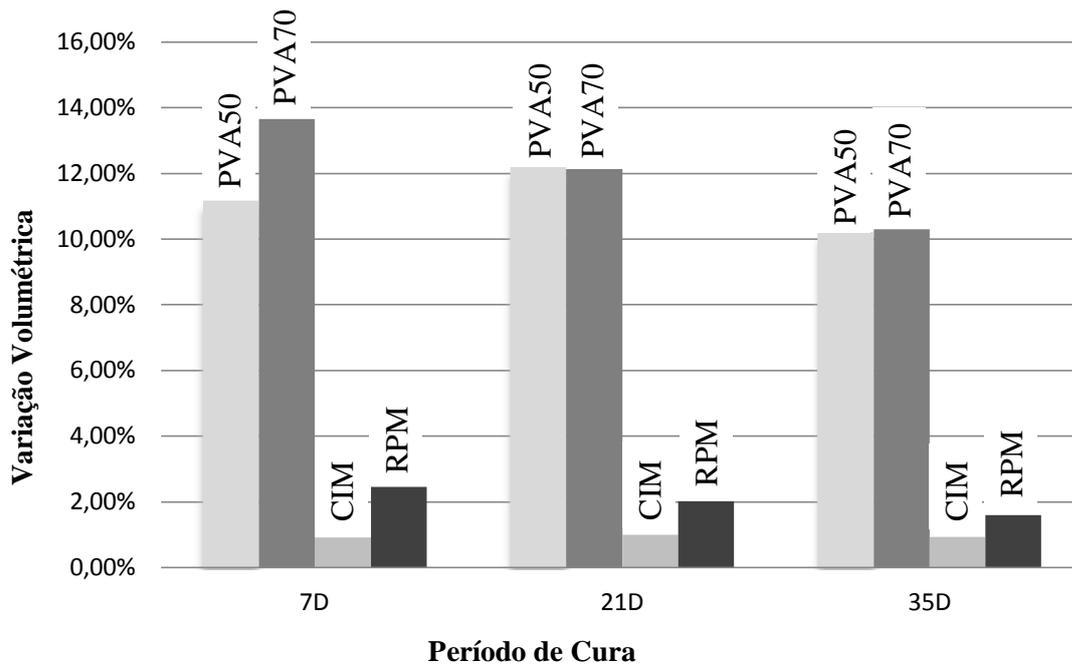


Figura 55. Variação volumétrica das matrizes de solo com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

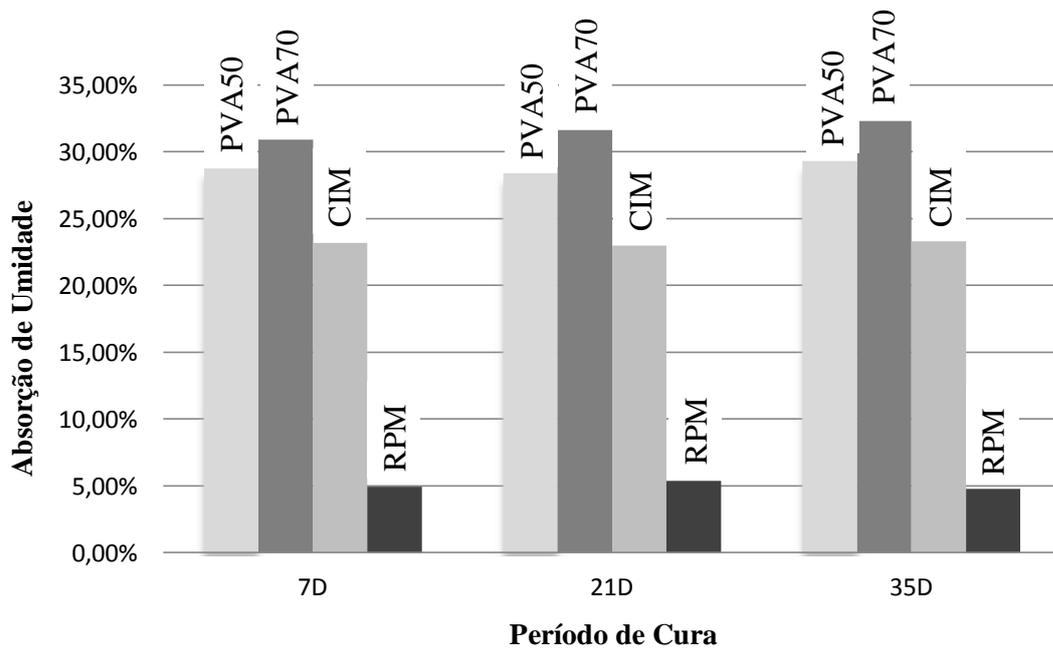


Figura 56. Absorção de umidade de solo com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM, nas idades de 7, 21 e 35 dias.

4.6. Ensaio de absorção por capilaridade

Considerando que os processos de degradação de blocos, tijolos e/ou alvenarias monolíticas de terra relacionados com a água, dependem essencialmente da quantidade de água absorvida e da duração do umedecimento, entender as particularidades deste comportamento, torna possível criar mecanismos que minimizem os danos gerados pela água. A ação da capilaridade depende, essencialmente, das características da estrutura porosa do material, isto é, da quantidade, dimensão e conectividade dos poros (RATO, 2006).

A absorção capilar é muito rápida inicialmente, adquirindo um ritmo mais lento até a fase de estabilização, esta diferença de ritmo é justificada pelo fato da água preencher inicialmente os poros acessíveis de maiores dimensões, em seguida os poros de menor dimensão, finalizando com os poros cujo acesso dependam da presença de canais (fibras, microfissuras e outros) (RATO, 2006).

Na figura 57 observa-se que a taxa de absorção por capilaridade, da matriz de solo estabilizada com cimento, demonstrou uma tendência a estabilização após 180 minutos de ensaio.

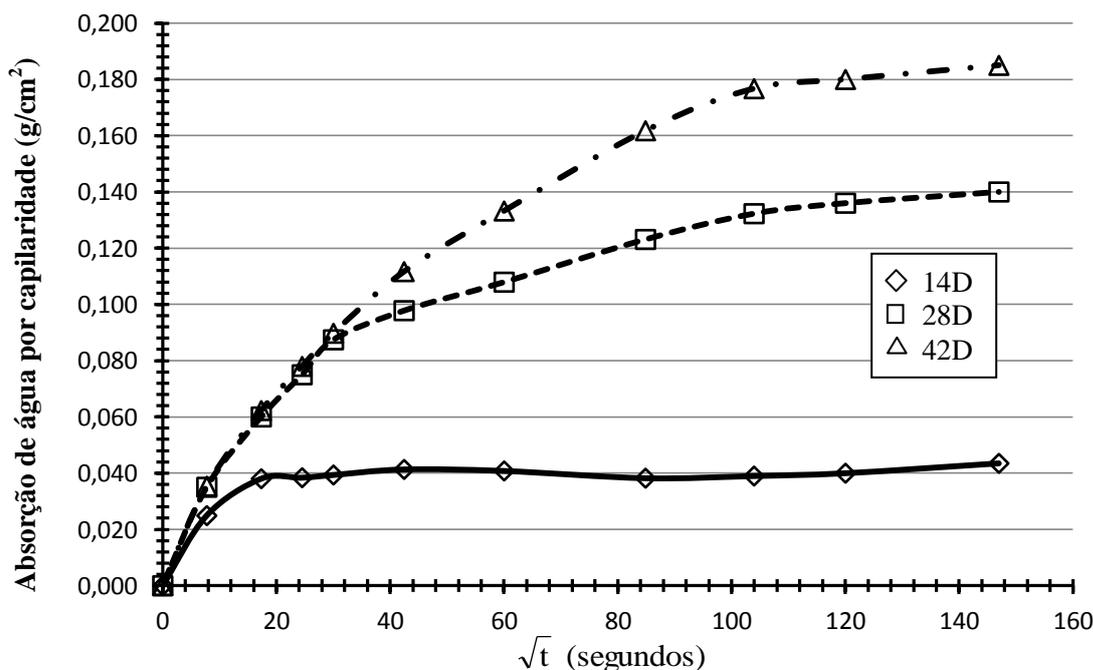


Figura 57. Taxa de absorção de água por capilaridade para solo/CIM, nas idades de 14, 28 e 42 dias.

Raimondo et al. (2009) avaliaram a velocidade inicial de absorção de água por capilaridade do BTC, o solo utilizado era predominantemente argiloso. Os autores observaram que, em geral, as amostras parecem seguir duas tendências principais, uma absorção inicial caracterizada por uma acentuada íngreme variando para um aumento mais suave tendendo à estabilização. Este comportamento foi observado nos ensaios realizados (figuras 58-63).

As figuras 58 e 59 ilustram o comportamento de absorção de água da matriz estabilizada com PVA50 e PVA70, respectivamente. Pode-se observar que nos espécimes ensaiados aos 21, 28 e 42 dias a estabilização ocorreu após 180 minutos de ensaio. As taxas de absorção aumentaram com a idade do compósito, a justificativa é de que o aumento volumétrico, provocado pela absorção de água do argilomineral, cria tensões internas, gerando e ampliando microfissuras, com uma maior quantidade e tamanho de canais, a interligação entre poros é favorecida. Kerali (2001), citando os trabalhos de Lea (1970) e Newman (1986), explica que as pressões internas dos poros podem acumular-se dentro dele, tal pressão pode conduzir a um tipo de alívio de tensões, normalmente associada com a interrupção da ligação inter-partícula e inter-fase em materiais à base de cimento, gerando ampliação e/ou criação de canais de interligação entre poros.

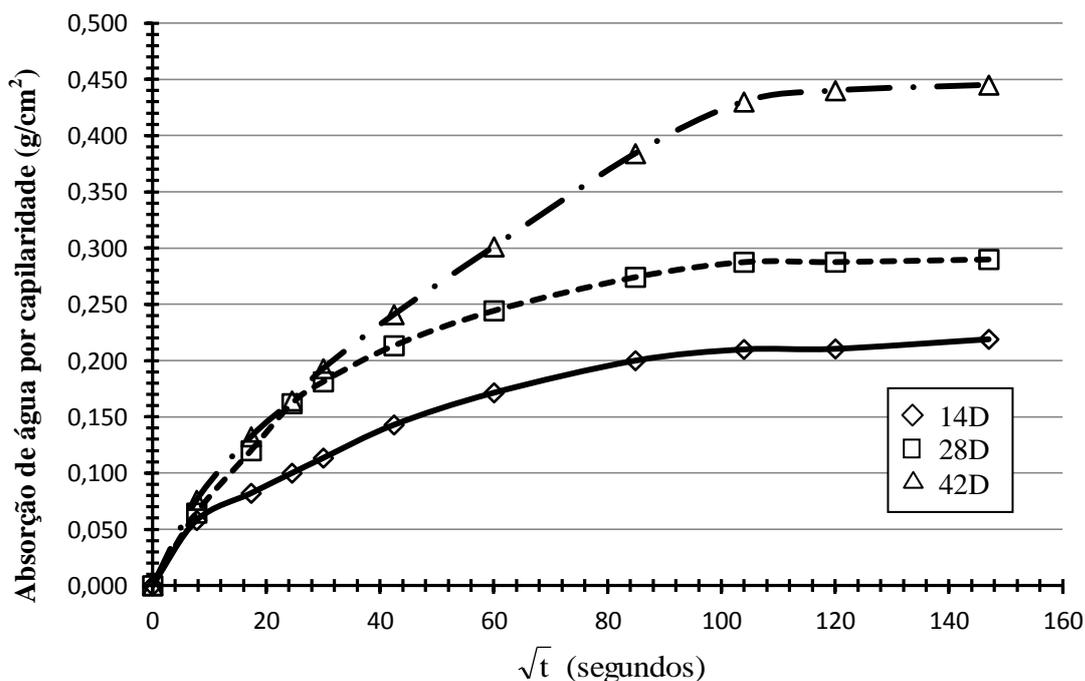


Figura 58. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo/PVA50, nas idades de 14, 28 e 42 dias.

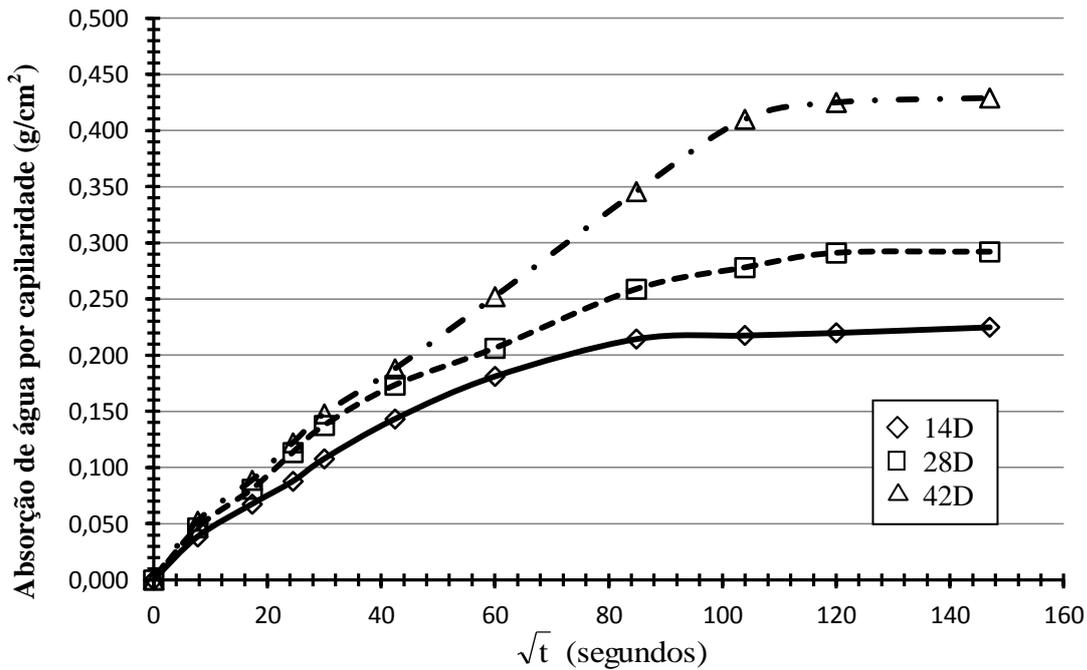


Figura 59. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo/PVA70, nas idades de 14, 28 e 42 dias.

O comportamento de absorção por capilaridade da matriz estabilizada com RPM, segue conforme demonstrado na figura 60. Pode-se observar que nos espécimes ensaiados aos 14 e 28 dias a estabilização tende a ocorrer após 10 minutos de ensaio, para os compósitos ensaiados aos 42 dias, esta tendência à estabilização ocorreu após 180 minutos.

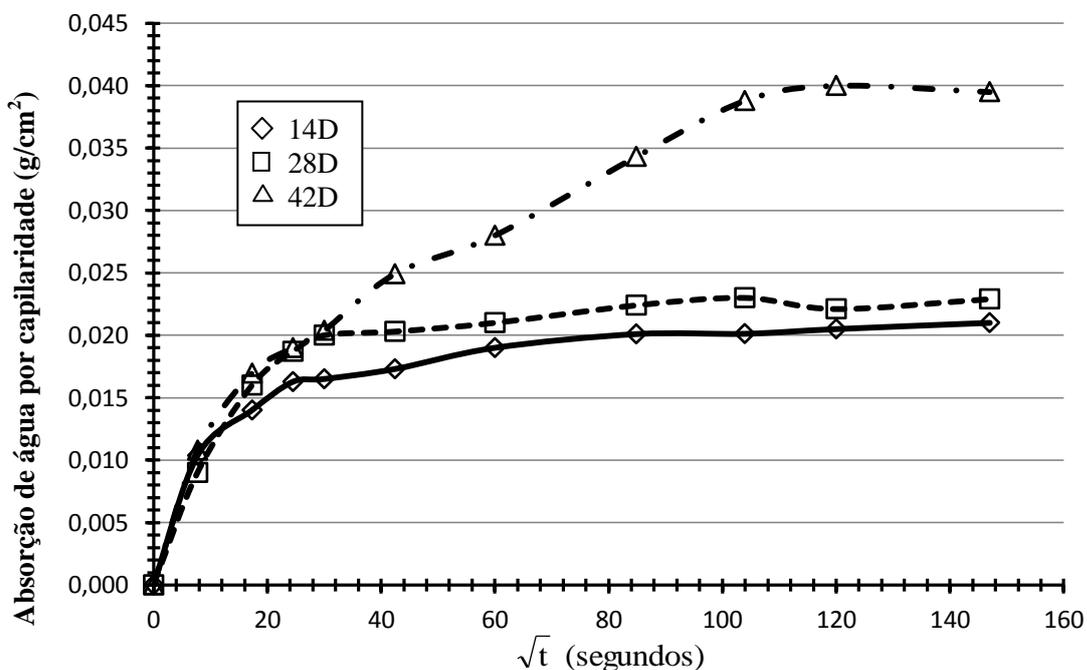


Figura 60. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo/RPM, nas idades de 14, 28 e 42 dias.

A comparação da taxa de absorção por capilaridade entre os aglomerantes estudados em corpos de prova com 14 dias de cura, segue demonstrado na figura 61. Observou-se uma considerável absorção por capilaridade do solo/PVA em comparação aos demais aglomerantes, apresentando tendência de estabilização após 180 minutos. As matrizes com solo/CIM e solo/RPM apresentam menores índices de absorção com estabilização após 10 minutos.

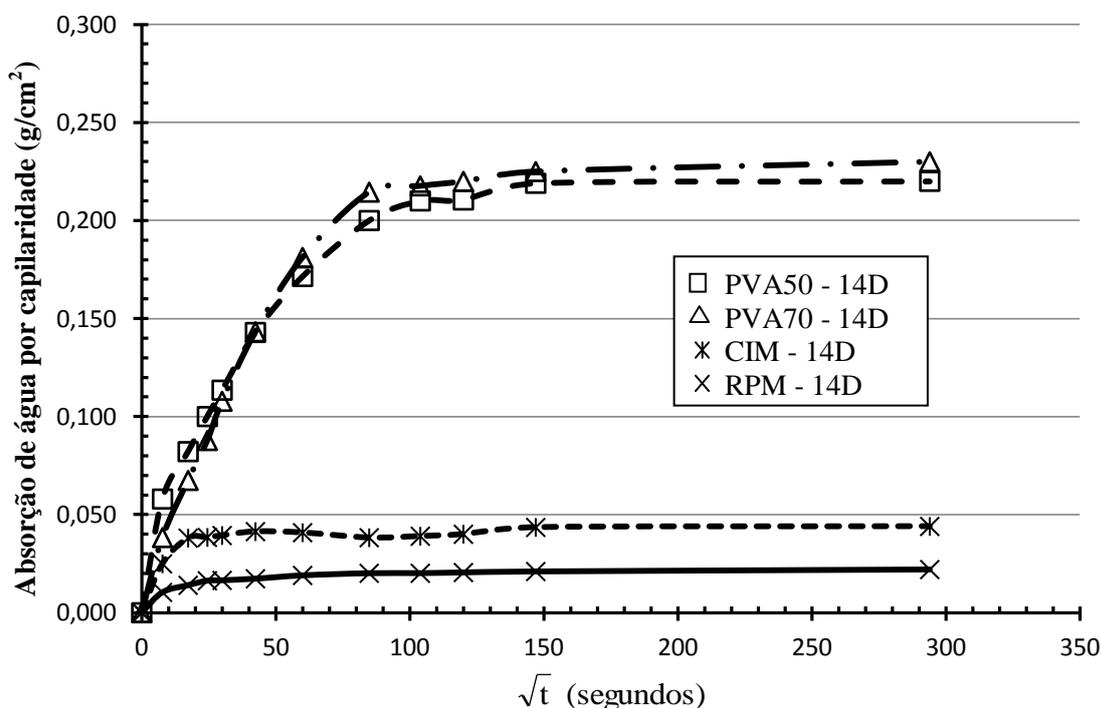


Figura 61. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo estabilizados com CIM, PVA50, PVA70 e RPM, aos 14 dias.

Ensaio realizados com corpos de prova com 28 dias de cura (figura 62) apresentam desempenho análogo aos espécimes ensaiados aos 14 dias. As curvas confirmam as duas tendências principais apontadas por Raimondo et al. (2009), uma absorção acentuada para os primeiros minutos seguida de uma tendência a estabilização. Todos os corpos de prova analisados demonstram estabilização após 6 horas. A absorção foi mais intensa para as misturas com PVA (50 e 70%). Os compósitos com RPM apresentaram os menores índices de absorção seguido do corpo de prova estabilizado com cimento.

Na figura 63 pode ser observado o comportamento das misturas ensaiadas aos 42 dias. Nos primeiros minutos o crescimento da absorção por capilaridade foi diferenciado para todos os compósitos, em virtude das características individuais de cada aglomerante, aproximando da estabilização após 6 horas de ensaio. Como

verificado anteriormente, os compósitos com RPM e cimento apresentaram absorção por capilaridade inferior aos compósitos com PVA.

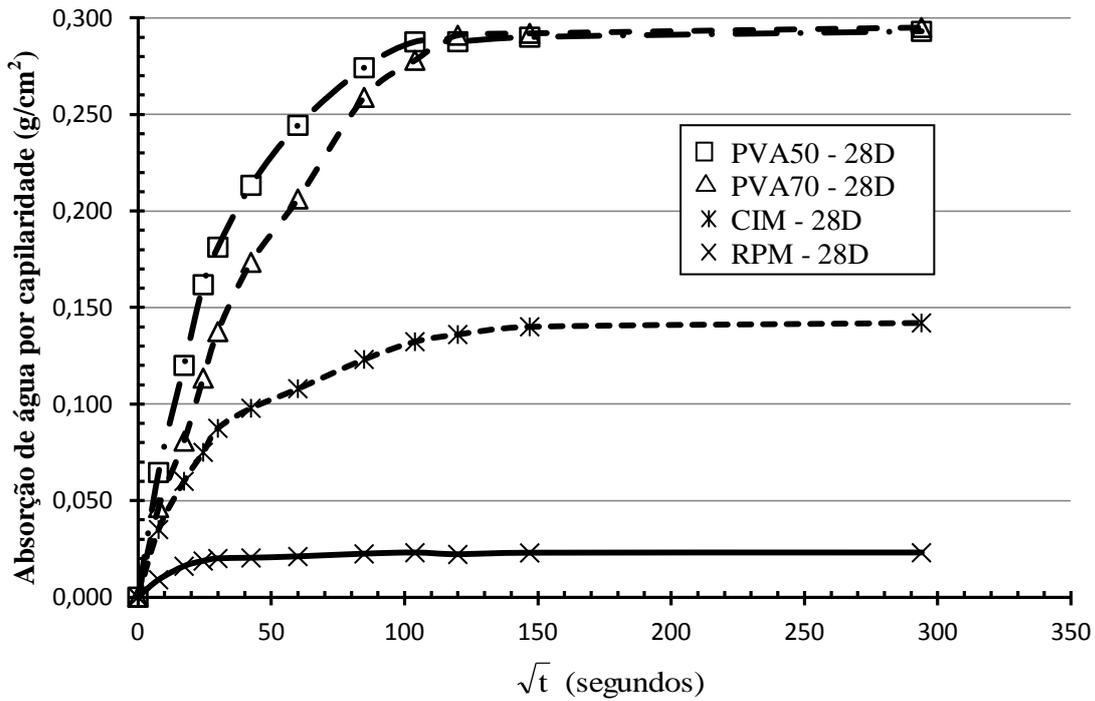


Figura 62. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo estabilizados com CIM, PVA50, PVA70 e RPM, aos 28 dias.

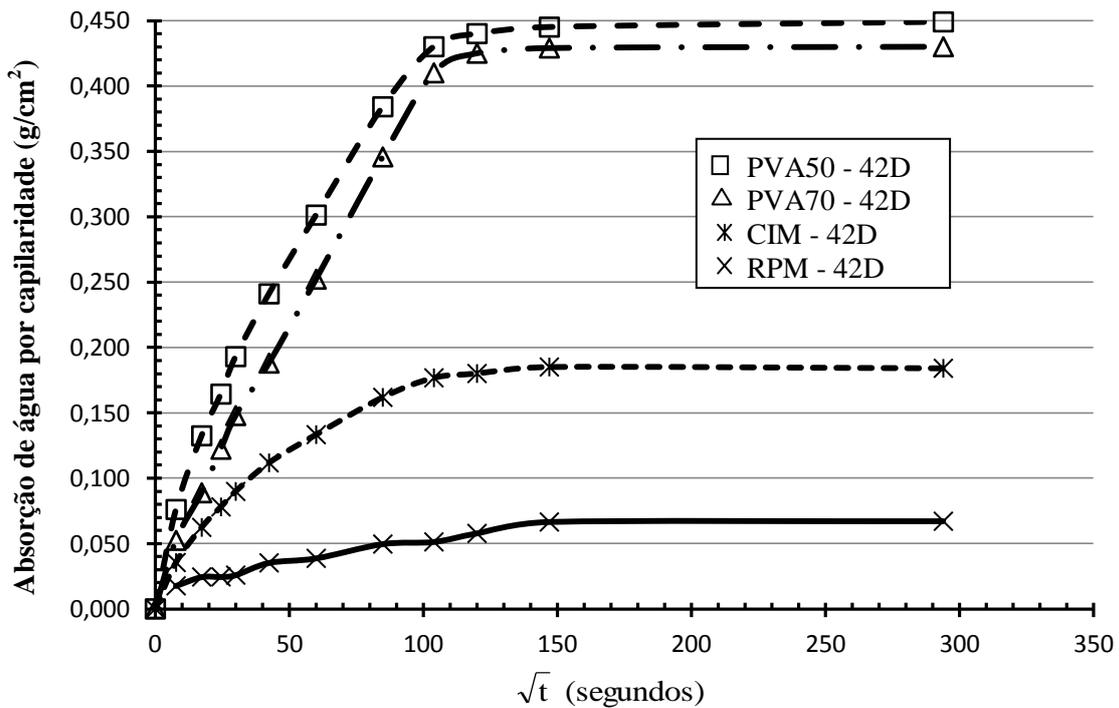


Figura 63. Taxa de absorção de água por capilaridade para compósitos com solo estabilizados com CIM, PVA50, PVA70 e RPM, aos 42 dias.

4.7. Ensaio de molhagem e secagem

Os ciclos de molhagem e secagem são aplicados aos materiais para estimar sua perda de massa. A norma brasileira que define os procedimentos de ensaio é a NBR 13554 (ABNT, 1996). Ogunye e Boussabaine (2002) estudando métodos de ensaio para BTC, comentam que as normas para este ensaio são escassas e limitadas, apontando a ausência de simulação em grande escala com condições ambientais adequadas; agressividade das condições de exposição; a análise comparativa dos resultados com outros trabalhos é difícil e pouco confiável; falta de correlação com o desempenho real de longo prazo; perda de peso, base de cálculo, é enganosa, uma vez que, durante a imersão parte do material fica diluído na água; dificuldade em se manter um esforço abrasivo consistente durante todo o teste; impossível de simular a abrasão produzida pelo vento; entre outros.

Na tabela 25 estão representados os valores obtidos para os aglomerantes estudados. Observa-se que os compósitos com a resina poliuretana de mamona (RPM) apresentam índices abaixo do corpo de prova de referência (CIM) enquanto o solo estabilizado com PVA50 e PVA70 apresentaram perdas de massa significativamente superiores.

Tabela 25. Perda de massa por período de cura, valores expressos em %.

Cura	Aglomerantes			
	CIM	PVA50	PVA70	RPM
7D	1,68%	2,12%	5,37%	0,35%
21D	1,61%	1,13%	4,00%	0,21%
35D		3,95%	6,54%	

Constata-se que após cada ciclo de molhagem e secagem as matrizes estabilizadas com PVA50 e PVA70 se mostraram cada vez mais frágeis, fissuradas e deformadas. O mesmo comportamento não foi verificado para os compósitos solo/CIM e solo/RPM. Os corpos de prova solo/CIM (figura 64), ao final dos ciclos permaneceram inteiros, somente com algumas faces desgastadas, resultante da escovação.



Figura 64. Imagem dos corpos de prova, solo/CIM-D7, ao final dos ciclos de molhagem e secagem.

Contrariamente ao comportamento observado na matriz de solo/CIM, os compósitos com PVA50 e PVA70 (figuras 65 e 66), apresentaram significativas fissuras em suas faces, além de um desgaste mais intenso.

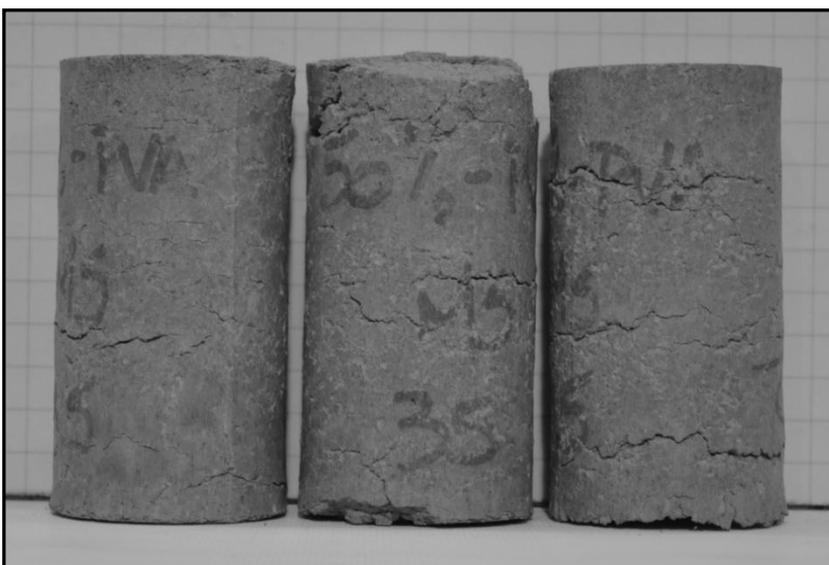


Figura 65. Imagem dos corpos de prova, solo/PVA50-D35, ao final dos ciclos de molhagem e secagem.



Figura 66. Imagem dos corpos de prova, solo/PVA70-D21, ao final dos ciclos de molhagem e secagem.

Os compósitos estabilizados com RPM (figura 67) foram mais estáveis em comparação aos demais. Embora os ciclos de absorção de água (5 horas) e de perda de água (42 horas em estufa a 70°C) sejam intensos, os espécimes não apresentaram fissuras. O material também apresentou bom comportamento ao teste de abrasão (escovação das faces com escova de aço), não apresentando desgaste significativo. Atzeni et al (2008) comentam que em compósitos de solo e aglomerante polimérico há melhorias significativas na resistência a abrasão em comparação aos estabilizantes hidráulicos.

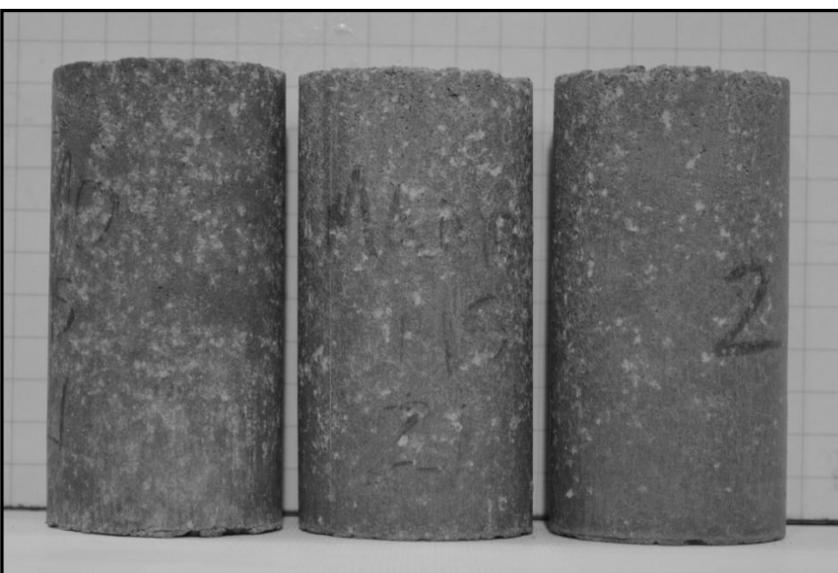


Figura 67. Imagem dos corpos de prova, solo/RPM-D21, ao final dos ciclos de molhagem e secagem.

Após os ensaios de molhagem e secagem os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de compressão simples. As curvas de tensão deformação podem ser observadas na figura 68. Os dados obtidos estão apresentados na tabela 26. Observou-se uma considerável perda de resistência para as misturas que utilizaram PVA como aglomerante. Os compósitos com cimento apresentaram uma perda de cerca de 48%, enquanto o espécime com adição de RPM ficou em torno de 31%.

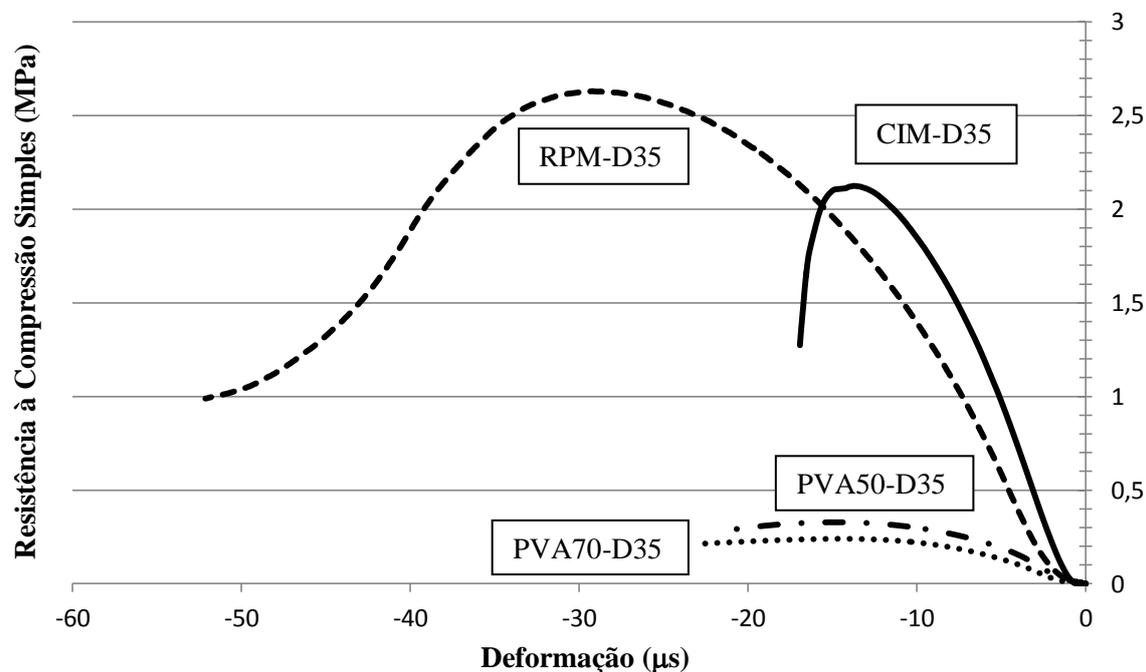


Figura 68. Tensão-deformação dos compósitos com solo estabilizados com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM, após ensaio de molhagem e secagem.

Tabela 26. Resistência à compressão simples e porcentagem de perda, dos compósitos com solo estabilizados com cimento, PVA (solução de 50 e 70% em água) e RPM, antes e após ensaio de molhagem e secagem.

Dias		Tensão de ruptura (MPa)		
		Antes do ciclo de molhagem e secagem	Após o ciclo de molhagem e secagem	Perda de resistência
35	CIM	4,116	2,124	48,4%
	RPM	3,820	2,631	31,1%
	PVA50	1,677	0,329	80,4%
	PVA70	1,418	0,241	83,0%

Kerali (2001) citando os trabalhos de Fitzmaurice (1948) e Houben et al. (1996) comenta que blocos saturados apresentam menores resistências que blocos ensaiados em seu estado seco (umidade natural). Cytryn (1957, apud

HEATHCOTE, 1995) observou uma redução de 40% para um solo siltoso e de 60% para um solo arenoso, estabilizados com 6 e 10% de cimento. Chadda (1956, apud HEATHCOTE, 1995) analisando um solo silte argiloso constatou uma perda total para uma mistura solo com 2% de cimento e uma perda de 41% para o mesmo solo com 8% de cimento. Pinto (2008) observou para compósitos solo argiloso/cimento, uma redução média de resistência, de 58%. Já nos compósitos solo arenoso/cimento, a redução foi de aproximadamente 30%. Para as amostras reforçadas com fibras a redução alcançou índices médios de 40%.

Rolim (1999), utilizando água de cola para estabilização de matrizes de terra, observou uma redução média de 80%, entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova antes e depois dos ensaios de molhagem e secagem.

Kerali (2001) comenta que a diferença entre resistências pode ser explicada por três fatores. O primeiro fator se refere a presença de umidade no bloco, a água presente reduz as fracas ligações de Van der Waals entre a superfície do cimento hidratado e a superfície das partículas do solo. O segundo fator está relacionado à presença de argilominerais, que com sua elevada afinidade com a água, conduz à absorção e subsequente dispersão das partículas finas não estabilizadas. Isto pode ter o efeito indesejável de enfraquecimento nas ligações entre aglomerante e partícula. Por fim, o autor citando os trabalhos de Lea (1970) e Newman (1986), indica como terceiro fator, a ocorrência de pressões internas nos poros, comum em um corpo de prova saturado. A pressão acumulada pode levar a um tipo de alívio de tensões, normalmente associada com a interrupção da ligação interpartícula e inter-fase em materiais à base de cimento. Walker (1995) fez a mesma observação. A redução de resistência é devido, principalmente, ao desenvolvimento de pressões de água nos poros e à liquefação dos minerais de argila não estabilizados na matriz compactada.

4.8.

Fibras de sisal e pupunha inseridas na matriz solo/RPM

A resistência à compressão simples, aos 7 e 35 dias, do compósito solo/RPM com adições vegetais (pupunha e sisal) pode ser visualizada na figura 69. Observou-se que a adição de pupunha, aos 7 dias, pouco acrescentou na

resistência, 15,87% em relação aos corpos de prova sem reforço, por sua vez, as fibras de sisal aumentaram a resistência em 33,65% do compósito. Para os corpos de prova ensaiados após 35 dias de cura, as fibras vegetais acresceram na resistência à compressão simples em relação ao corpo de prova de referência, 11,05% para solo/RPM-P e 26,58% para solo/RPM-S. Em relação a tenacidade, quando se compara solo/CIM e solo/RPM, observa-se um aumento de aproximadamente 354%, com a adição das fibras vegetais houve um aumento da capacidade de deformação pós fissuração de 428% para o compósito solo/RPM-P e de 504% para o espécime solo/RPM-S. A tenacidade foi obtida calculando-se a área sob a curva tensão x deformação

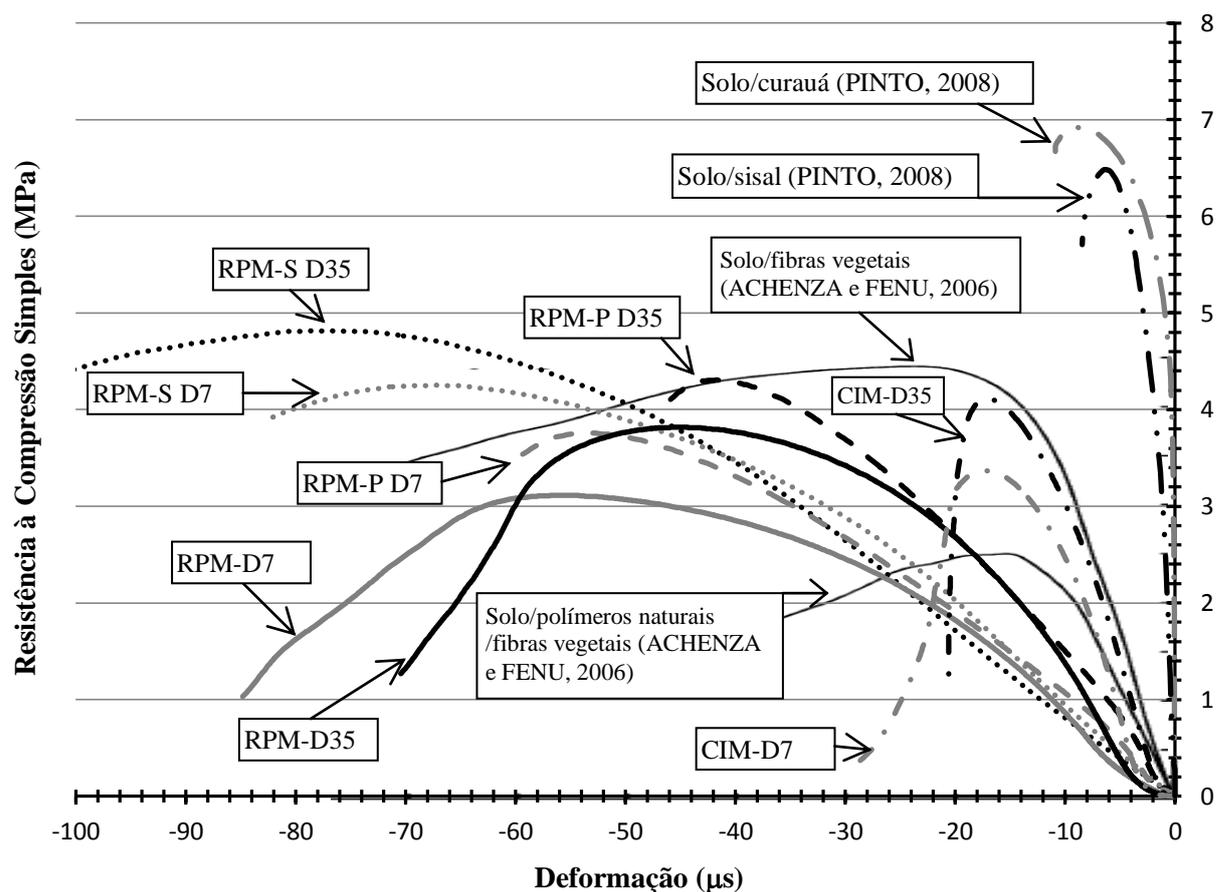


Figura 69. Tensão-deformação dos compósitos com solo/CIM, solo/RPM, solo/RPM-P e solo/RPM-S, aos 7 e 35 dias.

O módulo de elasticidade foi calculado a partir do diagrama tensão-deformação conforme recomendado pela ASTM C469 (ASTM, 2002) e sugerido por Toledo Filho (1997) aos 35 dias. O módulo é a inclinação da reta entre dois pontos fixos no diagrama. O ponto inferior é o ponto onde a deformação é zero enquanto o ponto mais alto é o ponto onde a tensão corresponde a 40% da tensão

última. O módulo de elasticidade é calculado pela equação 14, onde $\varepsilon_{40\%}$ corresponde a deformação longitudinal produzida pela tensão $\sigma_{40\%}$. Os resultados podem ser observados na tabela 27.

$$E = \frac{(\sigma_{40\%})}{\varepsilon_{40\%}} \quad (14)$$

Tabela 27. Resistência à compressão simples e módulo de elasticidade na compressão simples, em GPa.

Dias		Este trabalho		Pinto (2008)	
		Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
35	Solo	1,25 (2,83)	3,50	1,45 (3,81)	2,35
7	CIM	3,366 (7,33)	4,17	3,34 (3,71)	--
	RPM	3,114 (0,89)	1,18	--	--
	RPM-P	3,781 (4,34)	1,11	--	--
	RPM-S	4,222 (2,43)	1,12	--	--
35	CIM	4,116 (8,11)	4,30	3,89 (13,47)	4,24
	RPM	3,820 (8,64)	1,81	--	--
	RPM-P	4,388 (5,16)	1,22	--	--
	RPM-S	4,823 (2,95)	1,04	--	--
	Solo/curauá				5,13
	Solo/sisal				4,46

* os valores entre () representam o coeficiente de variação (CV), em %.

Observou-se, em geral, que a inclusão das fibras vegetais ocasionou o decréscimo do módulo de elasticidade em comparação aos espécimes de referência (solo/RPM). Comportamento análogo ao observado por Barbosa (1996). Segundo o autor, o módulo de elasticidade obtido para o solo estabilizado com emulsão asfáltica atingiu valores médios de 5,69 GPa, com a adição de fibras de sisal (0,7% em peso de solo) houve o aumento da flexibilidade do compósito, com módulo de elasticidade de 3,45 GPa. Ghavami et al (1999), observaram o aumento da flexibilidade dos compósitos com a adição de fibras vegetais. Os autores estudaram a adição de fibras de sisal e coco com comprimento de 50 mm e adição volumétrica de 4%. Para os espécimes com fibras de sisal a redução do módulo de elasticidade foi de aproximadamente 17%. Para as fibras de côco a redução foi de 58%.

Na figura 70, referente a resistência à tração por compressão diametral aos 7 e 35 dias, observou-se que o aumento da resistência concomitantemente as adições vegetais. Os corpos de prova com fibras de sisal (solo/RPM-S), aos 7 dias, resistiram 49,12% a mais que os compósitos solo/RPM (referência) e 18,05% do solo/RPM-P. O compósito solo/RPM-P obteve resistência de 26,31% superior ao solo/RPM. As misturas solo/RPM-P, ensaiadas aos 35 dias, apresentaram um aumento de resistência de 37,6% em relação ao corpo de prova de referência (solo/RPM). A incorporação de fibras de sisal aumentou a resistência da matriz solo/RPM em 44%, aos 35 dias. Os resultados obtidos aos 7 e 35 dias, indicam a potencialidade do uso do reforço vegetal, demonstrando que a adição de fibras de sisal, para este caso de estudo, foi significativamente superior as fibras de pupunha.

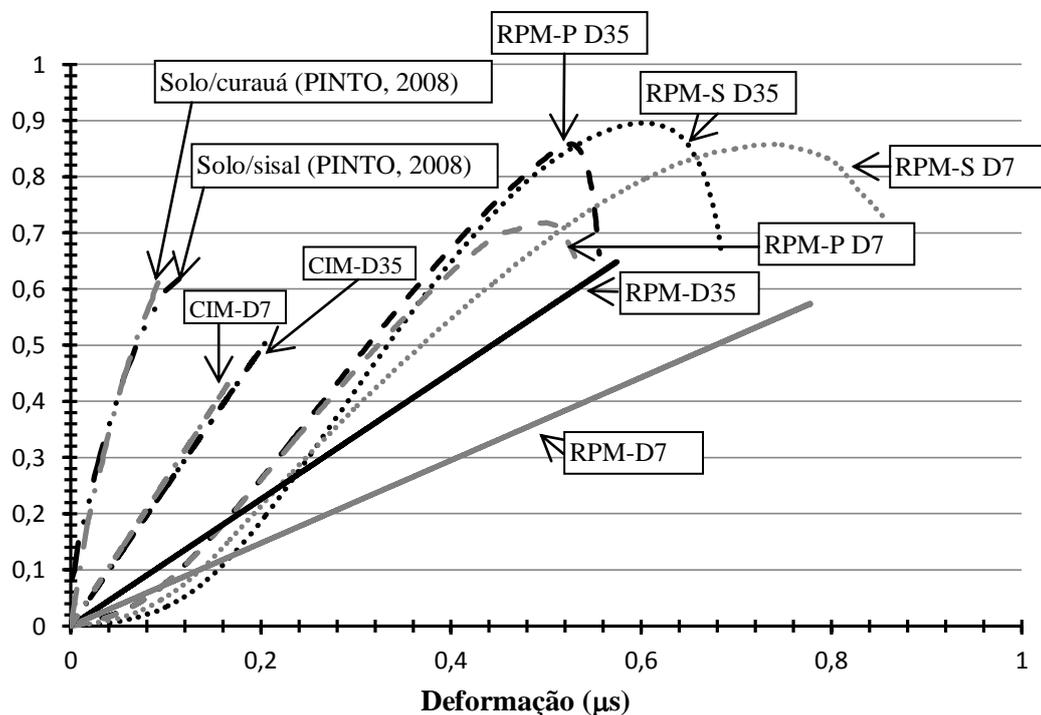


Figura 70. Tensão-deformação dos compósitos com solo/RPM, solo/RPM-P e solo/RPM-S, aos 7 dias.

Ensaio de absorção por imersão (24h) foram realizados nos corpos de prova aos 7 dias de cura. Os resultados seguem descritos na tabela 28. Observou-se, que os valores dos corpos de prova sem reforço e com adições vegetais, apresentaram valores próximos, indicando que as fibras vegetais não acresceram na taxa de absorção de água.

Tabela 28. Absorção de umidade do solo/RPM, solo/RPM-P e solo/RPM-S. Os valores estão expressos em porcentagem. CV incluso dentro dos parênteses.

Absorção de Umidade	
RPM	5,02 (11,34)
RPM-P	5,05 (14,54)
RPM-S	5,13 (12,53)

Este mesmo comportamento foi observado por Pinto (2008), as fibras de sisal e curauá inseridas em matrizes de solo argilosa e arenosa não originaram aumento da absorção de umidade do compósito. O autor explica que a compactação age retirando boa parte da água absorvida pelas fibras (devolvendo-a a matriz), além de comprimi-las a compactação melhora a zona de transição (maior número de pontos de contato diminuindo a porosidade), além de enrijecer a matriz de modo a impedir que as fibras voltem a seu formato tubular original.