

Geocélulas Preenchidas com Resíduo de Pedras Semipreciosas

Aline Baruffi

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 85799@upf.br

Gustavo Dias Miguel

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 112893@upf.br

Márcio Felipe Floss

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, marciofloss@upf

RESUMO: A Geocélula é um geossintético que apresenta uma estrutura tridimensional aberta, composta por séries de células interligadas que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, possui como principais funções de melhorar a capacidade do solo e proteger taludes contra erosões. O material de preenchimento da geocélula é o resíduo de beneficiamento de pedras semipreciosas. Esse resíduo é oriundo da trituração de peças refugadas, semiacabadas e peças que apresentam impurezas e/ou defeitos, que acabam sendo estocados inadequadamente no pátio das empresas beneficiadoras, podendo causar impactos ambientais, como alteração nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e afetar a biota. A reutilização desse resíduo proporciona benefícios, pois, além de aumentar os espaços disponíveis em aterros industriais e nos pátios das empresas, auxilia também na redução do uso de matéria prima de recursos naturais, uma vez que o resíduo pode ser empregado na substituição dos mesmos. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo analisar o desempenho mecânico da geocélula, por meio de ensaios de placa, empregando como material de preenchimento o resíduo de beneficiamento de pedras semi-preciosas, proveniente do município de Soledade/RS. A metodologia do estudo foi dividida em 4 etapas. A primeira etapa da pesquisa consistiu na caracterização física do resíduo. Na segunda etapa realizou-se ensaio de placa na superfície do solo, ensaio de referência. Na terceira etapa analisou-se a resistência mecânica do solo reforçado com geocélula de 10cm de altura, preenchida com o resíduo, a mesma foi instalada sobre o solo. Para os ensaios de placa, tanto o de referência, como o ensaio no solo reforçado com geocélula, utilizou-se placa de 30cm de diâmetro e um sistema de reação que constituía sobrecarga de blocos de concreto e uma viga metálica apoiada sobre duas sapatas móveis. Na última etapa, comparou-se os resultados obtidos nos ensaios de placa realizados no solo reforçado com geocélula com o ensaio de referência, a fim de validar o uso da geocélula com preenchimento de resíduo de pedras semi-preciosas.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de Carga, Geossintéticos, Reforço do Solo.

1 INTRODUÇÃO

Posteriormente a Segunda Guerra mundial, com o desenvolvimento da indústria petroquímica e a disseminação de produtos plásticos, originou-se os geossintéticos. Seu primeiro emprego foi em obras costeiras nos Países Baixos e na União Européia (VERTEMATTI, 2001).

A geocélula, é um geossintético que

apresenta uma estrutura tridimensional aberta formada por uma série de células interligadas, onde confinam mecanicamente os materiais nela inseridos (NBR ISO 10318, 2013). Proporcionam aumento na capacidade de suporte do solo, uma vez que, absorvem parte das tensões dos carregamentos impostos à superfície e os redistribuem às camadas adjacentes com menor intensidade (Avesani

Neto e Bueno, 2010).

O material de preenchimento das geocélulas pode ser definido em função dos esforços que serão impostos a estrutura (Vertematti, 2001), sendo uma das alternativas o resíduo de pedras semipreciosas.

O resíduo de pedras semipreciosas é gerado no processo de beneficiamento, na forma de refugos, peças semi-acabadas, peças pouco beneficiadas e peças que contêm impurezas ou defeitos de formação. Esse resíduo acaba muitas vezes sendo armazenado inadequadamente nos pátios das empresas, podendo causar danos ambientais.

O presente trabalho visa proporcionar um destino adequado ao resíduo de pedras semipreciosas empregando-os como forma de preenchimento de geocélulas a fim de aumentar a resistência do solo.

2 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

2.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado no Campo Experimental de Geotecnia (Figura 1), da Universidade de Passo Fundo, situada na cidade de Passo Fundo, norte do estado do Rio Grande do Sul.



Figura 1. Local de estudo.

2.2 Materiais e Equipamentos

2.2.1 Geocélula

A geocélula empregada no estudo é confeccionada em geotextil 100% polipropileno termofixado, as células são costuradas umas nas outras e apresentam altura de 10cm (Figura 2). Na Tabela 1 tem-se as características das mesmas.



Figura 2. Geocélula.

Tabela 1. Características da Geocélula (Adaptado, OBER S.A., 2014).

Especificações Técnicas	
Altura da célula (cm)	10
Dimensão média da célula (cm)	27x27
Área nominal da célula (cm)	729
Dimensão da peça expandida (m)	min. 3,00x2,60/ máx. 6,00x2,60
Área da peça expandida (m)	min. 7,80/ máx. 15,60
Peso da peça (Kg)	3,3-6,7
Resistência transversal das juntas (N)	1800

2.2.2 Resíduo de pedras semipreciosas

O material de preenchimento das geocélulas é o resíduo originário do beneficiamento de pedras semipreciosas (Figura 3), proveniente do município Soledade, localizado na região norte do estado do Rio Grande do Sul.



Figura 3. Resíduo de pedras semipreciosas.

O resíduo é classificado como areia e silte, apresenta diâmetro efetivo de 0,0049mm, Coeficiente de Uniformidade (Cu) de 207,57, ou seja material desuniforme e, o Coeficiente de Curvatura (Cc) 0,45, solo mal graduado.

A caracterização física do mesmo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização do resíduo.

PARÂMETROS DO SOLO	VALOR
Argila (%)	6
Silte (%)	29
Areia (%)	55
Pedregulho (%)	10
Peso Específico Real dos Grãos (kN/m^3)	25,7
Teor de umidade ótimo (%)	11,29
Massa Específica Aparente Seca (kN/m^3)	18,73

2.2.3 Equipamentos Ensaio de Placa

Para a realização dos ensaios de placa, empregou-se de três sistemas:

- Sistema de Reação: a sobrecarga é constituída por blocos de concreto de aproximadamente 7kN cada e uma viga metálica de 10kN, apoiada sobre duas sapatas móveis.
- Sistema de transmissão de carga: macaco hidráulico e uma célula de carga com capacidade de 20 toneladas cada. Placa com diâmetro de 30 cm.
- Sistema de medição dos deslocamentos: 02 extensômetros digitais.

2.3 Preenchimento Geocélula

A fixação das geocélulas (Figura 2) foi realizada por meio de grampos de fixação, ou seja, hastes metálicas espetadas no solo, distribuídas nas extremidades da geocélula (MPZ, 2015), não foi necessário empregar vala de ancoragem pois a mesma apresentava-se em uma superfície regular.

No preenchimento da geocélula, o resíduo era misturado com água em uma betoneira até apresentar umidade ótima, igual a 11,29%, determinada por meio do ensaio de compactação. A umidade era averiguada através do ensaio Speed, com base na norma do DNER-ME 052 (1994).

Com o auxílio de um carrinho de mão transportava-se o resíduo até a geocélula despejando-o sobre a mesma com o auxílio de pás manuais (Figura 4). Em seguida, realizava-

se a compactação com a placa vibratória (Figura 5), até que o resíduo atingisse uma cobertura de 3cm da geocélula. Verificava-se o peso específico pelo ensaio de cone de areia, seguindo instruções da norma DNER-ME 092 (1994), onde o peso específico encontrado era próximo ao peso específico aparente seco, igual a $1,91\text{g/cm}^3$.



Figura 4. Preenchimento da geocélula.



Figura 5. Compactação geocélula.

2.4 Ensaio de Placa

Primeiramente realizou-se ensaio de placa na superfície do solo, denominado “ensaio de referência” (Figura 6) e em seguida na geocélula.

Os ensaios de placa seguiam os prescritos da NBR 6489 (1984), onde, aplicavam-se incrementos de carga de 20% da tensão admissível do solo. As leituras eram obtidas em tempos dobrados de 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos e assim consecutivamente caso necessário. Se o recalque total se estabilizasse ou se mantivesse inferior a 5% após meia hora de ensaio, partia-se para um novo acréscimo de carga, caso

contrário dava-se sequência na leitura dos deslocamentos.

Após a realização do ensaio, eram feitas as descargas, em estágios sucessivos inferiores a 25% da carga total, a leitura dos deslocamentos eram encontradas de maneira idêntica à do carregamento.

Os ensaios ocorriam, de acordo com as exigências da norma, até que o recalque estivesse maior ou igual a 25mm (Figura 7), ou que a carga do incremento atingisse o dobro da carga admissível. Caso o solo não rompesse, a carga máxima deveria ser mantida por 12 horas.



Figura 6. Ensaio de placa – solo.



Figura 7. Ensaio de placa – geocélula.

2.4.1 Critérios de ruptura

Os critérios de ruptura adotados foram os citados a seguir:

- Critério nº 1: recalque máximo igual a $D/30$, onde D corresponde ao valor do diâmetro da placa, ou seja, 30cm;
- Critério nº 2: recalque igual a 25mm;
- Critério nº 3: recalque máximo igual a 10% D;
- Critério nº 4: tangente da curva-plotar os valores de carga x recalque, obtendo o valor da carga de ruptura pelo ponto de

inserção das tangentes dos trechos inicial e final da curva.

3 RESULTADOS

Os ensaios de placa realizados, tanto no solo, como na geocélula, adotaram como referência a norma NBR 6489 (1984).

A Figura 8 mostra os resultados encontrados no ensaio de placa no solo, onde é possível visualizar que a cada estágio quando um incremento de carga era aplicado, os recalques elevavam-se rapidamente. A ruptura foi identificada como sendo por puncionamento, uma vez que, a placa simplesmente afundou no solo (Figura 9).

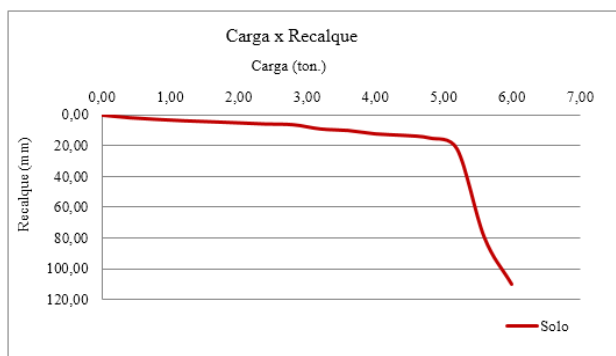


Figura 8. Curva Carga x Recalque – Solo.



Figura 9. Ruptura do Solo.

O ensaio de placa realizado na geocélula (Figura 10) apresenta maior resistência em relação ao ensaio realizado somente no solo. A

ruptura encontrada foi por puncionamento (Figura 11).

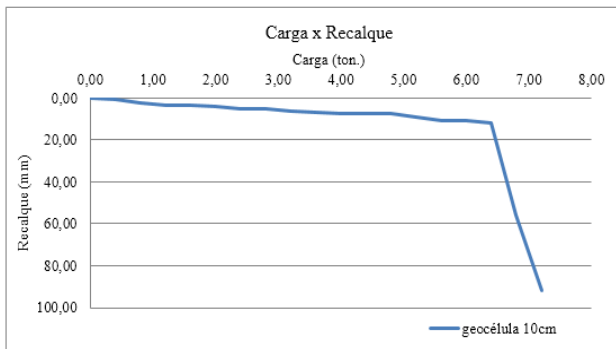


Figura 10. Curva Carga x Recalque – Geocélula.



Figura 11. Ruptura Geocélula.

3.1 Verificação da carga de ruptura

A análise do comportamento da Carga x Recalque, foi realizada por meio dos critérios descritos no Item 2.4.1. A carga de ruptura e seus respectivos recalques encontrados através dos quatro critérios estão apresentados a partir da Figura 12 até a Figura 19. A Tabela 3 apresenta um comparativo desses valores.

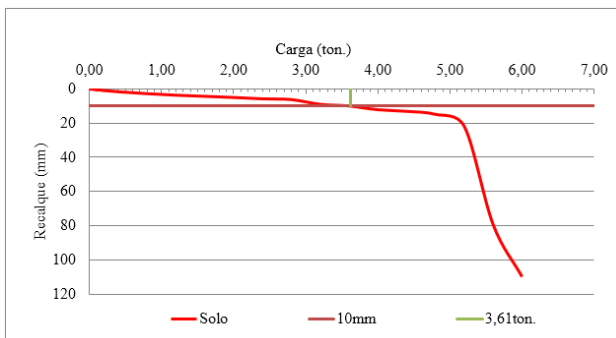


Figura 12. Critério I – Solo.

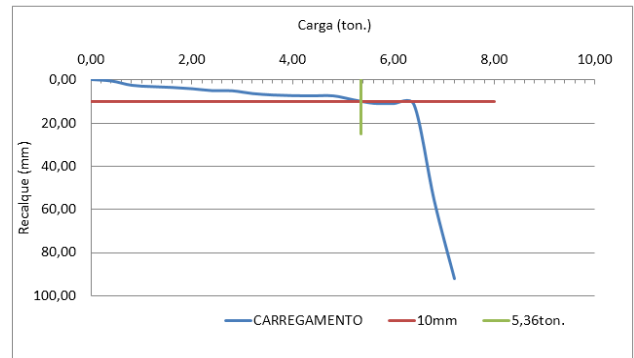


Figura 13. Critério I – Geocélula.

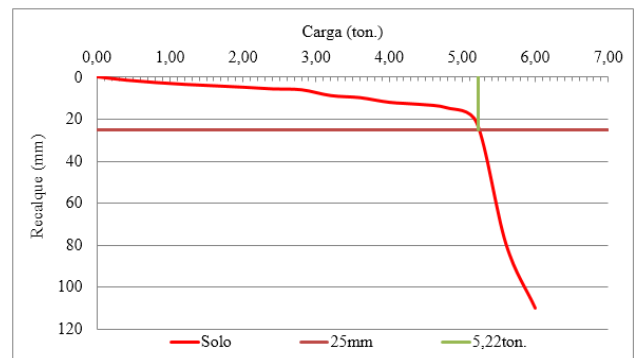


Figura 14. Critério II – Solo.

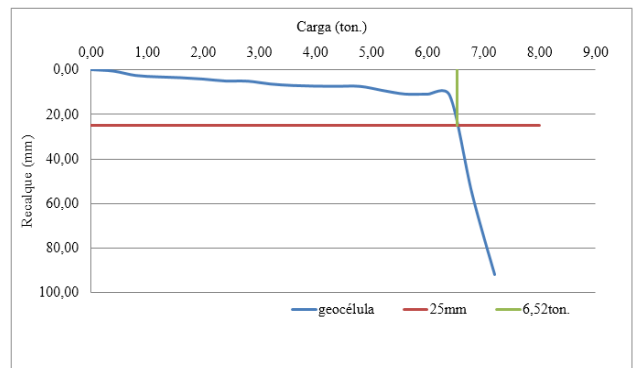


Figura 15. Critério II – Geocélula.

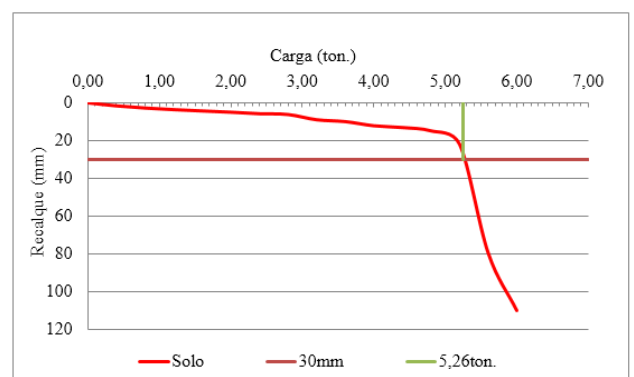


Figura 16. Critério III – Solo.

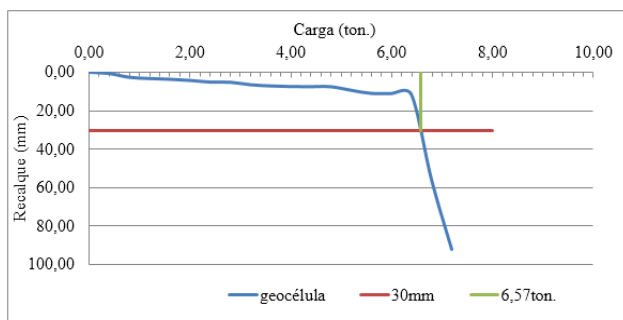


Figura 17. Critério III – Geocélula.

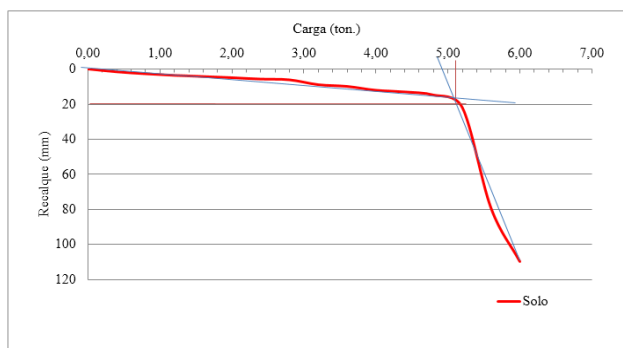


Figura 18. Critério IV – Solo.

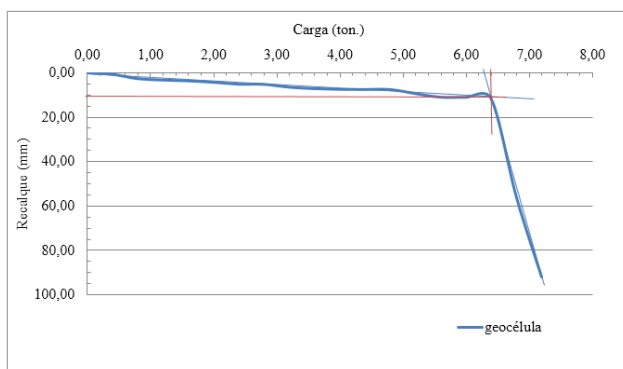


Figura 19. Critério IV – Geocélula.

Tabela 3. Carga de Ruptura e Recalque.62,69

Critérios	SOLO			GEOCÉLULA		
	Carga (ton.)	Carga (kN)	Recalque (mm)	Carga (ton.)	Carga (kN)	Recalque (mm)
I	3,61	35,41	10	5,36	52,58	10
II	5,22	51,21	25	6,52	63,96	25
III	5,26	51,5	30	6,57	64,45	30
IV	5,05	49,54	19,29	6,39	62,69	11,64

Através dos dados, é possível visualizar que os critérios apresentam uma significativa dispersão entre seus resultados, a carga de ruptura chega a variar 16kN no ensaio do solo e 12kN para a geocélula.

A carga de ruptura média dos critérios para

os ensaios de placa realizados encontrasse próximo aos valores obtidos pelo critério IV. A carga obtida pelo critério I em ambos ensaios apresenta-se a mais conservadora.

A resistência do solo aumentou de 25% a 48% com o emprego da geocélula preenchida com resíduo de beneficiamento de pedras semipreciosas. Na Figura 20 podemos ver esse ganho de resistência nitidamente.

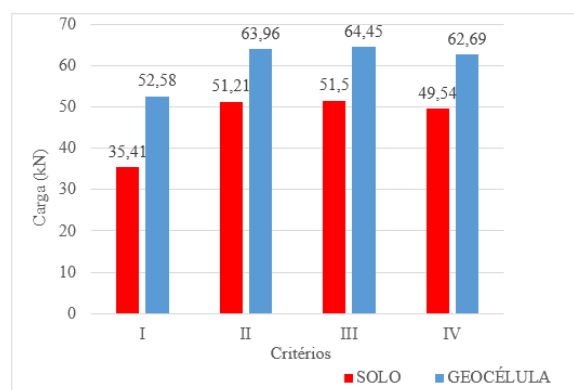


Figura 20. Comparativo entre os ensaios e critérios.

Na Figura 21 tem-se o gráfico comparativo entre as tensões encontradas para o solo e as tensões do solo reforçado com a geocélula, onde pode-se ver que a tensão do solo reforçado com a geocélula é aproximadamente 920kN/m² e a do solo de referência é 740kN/m², sendo assim houve um aumento de tensão de 180kN/m².

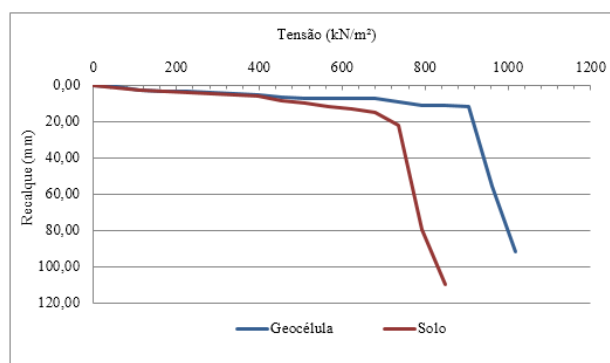


Figura 21. Gráfico – Tensão x Recalque.

Filgueira (2016), analisou a capacidade de carga segundo método de Avesani, para solo com e sem reforço de geocélula, a fim de reduzir as dimensões da base da sapata. Encontrou para o solo reforçado um considerável aumento da capacidade de carga da fundação, de aproximadamente 44%, valor

semelhante ao obtido no presente trabalho para o critério I, onde o ganho de resistência com uso da geocélula aumenta 48%.

Meneses (2004) empregou geocélulas para reforço de solos moles em sua pesquisa, onde concluiu que o solo reforçado com geocélula apresenta ganho significativo na capacidade de carga, esse ganho chega a ser 3,5 vezes maior para pequenos recalques, como por exemplo 10mm, nos demais estágios de carregamento o reforço do solo possuía um aumento de 50% da capacidade de carga. Esses valores se diferem aos encontrados na pesquisa, mas uma das causas é o fato do solo em estudo não ser um solo mole e apresentar elevada resistência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da geocélula de 10cm de altura preenchida com resíduo de pedras semipreciosas mostrou-se satisfatório, uma vez que o solo apresenta elevada tensão de pré-adensamento.

O critério I apresentou os resultados mais conservadores, isso se deve ao fato do mesmo apresentar um recalque menor, ou seja, 10mm.

As cargas não apresentaram resultados com muita variação para os critérios II, III, onde o recalque passava de 25mm para 30mm.

Os resultados encontrados para os critérios II, III e IV, No ensaio de placa realizado na geocélula de 10cm exibiram um ganho de resistência de no mínimo 25% quando comparado com o ensaio de referência.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6489(1984). Prova de carga direta sobre terreno de fundação*. Rio de Janeiro.

_____. *NBR ISO 10318 (2013). Geossintéticos – Termos e Definições*. Rio de Janeiro.

Avesani Neto, J. O.; Bueno, B. de S. (2010) *Capacidade de carga de solos reforçados com geocélula*, COBRANSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade.

Departamento Nacional de Estrada E Rodagem. *DNER-ME 052 (1994). Solo e Agregados Miúdos – determinação da umidade com o emprego do “Speedy”*.

_____. *DNER-ME 092 (1994). Solo – determinação da massa específica aparente in situ”, com emprego do frasco de areia*.

Filgueira, A. R. G. (2016). *Análise técnica e econômica da aplicação de geocélulas para reforço de fundações diretas: estudo de caso*. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN.

Meneses. L. A. (2004). *Utilização de geocélula em reforço de solo mole*. Dissertação (mestre), Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

Mpz Aplicações Tecnológicas Ltda. (2015). *G-Cell Suporte de Carga em Solos Moles*. Disponível em: <<http://www.mpz.com.br/geocels.html>> Acesso em: novembro, 2015.

Ober (2014). *Catálogo Fortcell Geocélula*, 2014. Disponível em: <http://www.obergeio.com.br/catalogo/catalogo_fortcell.pdf> Acesso em: fevereiro, 2016.

Vertematti, J. C. (2001) *Curso Básico de Geotêxteis*. ABINT, Jan. 2001, São Paulo. Disponível em: <<http://www.abint.org.br/cbg.html>> Acesso em setembro, 2014.