

Estudo de Caso: Recalques Diferenciais Provocados por Inundação do Solo

Fabiani Maria Dalla Rosa Barbosa,
Universidade Federal de Mato Grosso, Várzea Grande, Brasil, fabianidalla@ufmt.br

Wilson Conciani,
Instituto Federal de Brasília, Brasília, Brasil, wilson.conciani@ifb.edu.br

RESUMO: Neste trabalho é apresentado um estudo de caso de recalques em edificações industriais. O empreendimento em questão localiza-se na cidade de Primavera do Leste, sudeste de Mato Grosso. Nesta cidade os solos são predominantemente arenosos, colapsíveis. A edificação é uma torre metálica, que abriga uma caldeira, assente sobre dois blocos principais de fundação que transmitem as cargas ao solo através de estacas escavadas a céu aberto. Trata-se portanto, de um prédio em que os recalques diferenciais comprometem a segurança quer pelo risco de tombamento, quer pelo risco de explosão. Durante os primeiros meses de operação da caldeira, foi observado um desvio de verticalidade da ordem de 15 cm. Uma avaliação mais cuidadosa observou que a causa eram recalques de fundações. Estes recalques ocorreram de forma muito rápida gerando deformações estruturais observadas em um período de horas. Também foi observado que os mesmos não tinham cessado. Após uma inspeção de campo levantou-se a hipótese dos recalques terem sido causados por um vazamento de água da caldeira. Esta água além de quente era cáustica. Todo o caudal se infiltrou junto aos blocos de fundações em maior ou menor volume a depender da posição do bloco de fundações. Um dos possíveis motivos de evolução dos recalques era o contínuo avanço da frente de inundação do subsolo, o solo entrou em colapso. Anterior à construção desta planta industrial sondagens foram executadas e o solo no local da obra foi descrito como argila siltosa. Novas sondagens no período de estudos para identificar as causas das patologias foram realizadas as quais indicaram que o solo é uma areia siltosa com pouca argila e os valores de N_{SPT} são inferiores aos informados no relatório inicial. Esta mudança de classe do solo e redução do N_{SPT} introduz uma variação no valor da carga admissível de aproximadamente trinta por cento (30%). Foi iniciado o processo para a escolha de soluções, a qual foi concebida em duas fases. A primeira fase do reforço se deu pelo controle dos vazamentos e adequada destinação dos efluentes da caldeira e ocorreu de forma imediata. Na segunda fase foram utilizadas Estacas Mega objetivando o nivelamento da estrutura e elevação do nível de segurança das fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Colapsíveis, Recalques, SPT, Segurança, Fundações.

1 INTRODUÇÃO

Os solos colapsíveis diferenciam-se dos demais tipos de solo, em duas características: possuem uma estrutura porosa e um teor de umidade menor que o necessário para a saturação. Estes solos sofrem grande redução de volume quando experimentam aumento no teor de umidade.

Este fenômeno do colapso já é estudado desde a década de 1970 (Dudley, 1970, Vilar et al. (1981).

No dimensionamento de fundações em solos colapsíveis é importante considerar o comportamento do solo e a interação solo estrutura. A maioria dos projetos de fundação no Brasil são baseados em informações contidas

nas sondagens SPT, as quais normalmente são simplificadas. A falta de informações geotécnicas aliadas alguns fatores como: inexperience de projetista, a utilização de métodos de cálculo consagrados para um determinado solo, mas sem aplicabilidade para outros, a falta de confiabilidade dos relatórios de sondagem, a dificuldade de leitura técnica dos boletins de sondagens, dentre outros fatores contribuem para o crescente número de patologias estruturais provocadas por problemas nas fundações.

Este trabalho apresenta um estudo de caso onde uma torre de caldeira industrial sofreu recalques diferenciais devido a vazamentos de água cáustica e quente. A fundação foi reforçada sem paralisação da planta da indústria e os recalques foram estabilizados.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PREDIO DA CALDEIRA

A obra em questão é uma planta industrial que possui uma caldeira instalada num prédio em estrutura metálica localizada na parte posterior da fábrica.

A estrutura principal da caldeira está assente sobre dois blocos de fundação que transmitem as cargas ao solo por meio de estacas escavadas. As estacas têm diâmetro de 30 cm, e comprimento de projeto variando entre 10 e 12 m. As estruturas periféricas da caldeira são assentes sobre estacas de diâmetro 30 ou 40 cm, com 10 m de comprimento, executadas sob blocos simples. A Tabela 1 mostra as cargas que atuam nas fundações.

Toda a área da caldeira tem seu piso em concreto estrutural. No perímetro desta área há canaletas que escoam eventuais vazamentos e as águas de arraste das cinzas.

Tabela 1. Cargas informadas pela empresa de montagem da Caldeira.

Bloco	Carga estática vertical kN	Carga dinâmica (kN)			
		Fx	Fy	Fz Mín.	Fz Max.
1	80				
2	50				
3	88	±6,10	±6,10		
4	120	±8,50	±8,50		
5	82	±5,80	±5,80		
6	61,5	±4,35	±4,35		
7	60	±4,25	±4,25		
8	60	±4,25	±4,25		
9	112	±8,00	±8,00		
10	172	±12,25	±12,25		
11	45				
12	90				
13	90				
14	905				
15	905		±90,50		
16	250	±9,50	±6,50	±19,5	±39
17	60	±8,50	±4,50	±17,0	±74
22	12				
23	25				
24	6,0				
25	100				
26	450	±48,0	±48,0		

3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A indústria está instalada na cidade de Primavera do Leste – MT, onde o solo é classificado como areia siltosa. Do ponto de vista pedológico é predominantemente latossolo vermelho amarelo (SANTOS,1997). Uma amostra de solo coletada a um metro de profundidade, Figura 1, mostra a formação de *peds* dos solos e de grandes poros.

Estudos realizados em outros locais da cidade de Primavera do Leste mostraram que o grau de colapsibilidade do solo desta região é da ordem 30% (Barbosa, 2002).

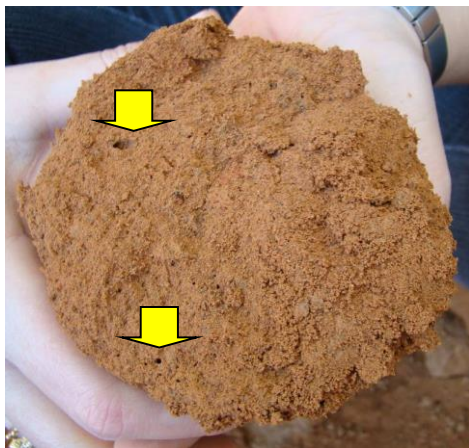


Figura 1. Presença de *peds* e grandes poros no solo.

Nas sondagens realizadas antes da construção desta planta industrial em agosto de 2007 o solo foi descrito como argila siltosa. Estas sondagens indicam que o solo tem baixo índice de resistência à penetração (N_{SPT}). Nas sondagens realizadas no local do prédio da caldeira, o valor de N_{SPT} cresce até a profundidade de 10 m. Desta profundidade e até cerca de 15 m os valores de N_{SPT} ficam estáveis e por volta de 10. A partir desta profundidade e até 25 m os valores do índice de resistência à penetração são crescentes até o valor de 15. O lençol freático foi encontrado na cota de 16 m. O clima da região apresenta duas estações bem definidas: de outubro a março o período de chuvas e entre abril e setembro o período de seca.

4 PATOLOGIAS APRESENTADAS

No final do mês de janeiro de 2010 foi observado pela equipe de engenharia da Indústria que o piso da caldeira havia recalado e foi providenciado o reparo e reconstrução do piso. Em meados de junho do mesmo ano foi observado que a estrutura que aloja a torre da caldeira estava fora de prumo. Esta observação levou a levantamentos topográficos realizados pela indústria que indicaram desvios de verticalidade da ordem de 15 cm em relação da base da estrutura.

4.1 Recalques

Segundo a equipe de engenharia da Indústria, os recalques observados no piso da caldeira seriam da ordem de 40 cm. Este recalque parecia ter sido uniforme, já que foram observadas trincas no piso sem outras ocorrências. Não houve relato de subsidências súbitas ou grandes diferenças de nível no piso. Por outro lado, os blocos recalcaram mesmo sem efeito de carga. A Figura 2 mostra o recalque de um bloco de fundação descolado da estrutura. Nesta figura pode ser observado que o pilar está a aproximadamente 2 cm acima do bloco de fundação, este fato ocorreu pela falta de ligação da estrutura no bloco e em função da rigidez da estrutura.



Figura 2. Bloco com recalque, estrutura livre.

A medição de recalques feita na obra no dia 13 de junho de 2010 indicou que as fundações sofreram recalques diferenciais de grande magnitude. As medições do recalque diferencial entre os dois blocos que sustentam a caldeira é de aproximadamente 14 cm. Considerando que a distância entre eixos dos dois blocos é de 5,4 m, o valor do recalque distorcional é de 2,59/100. Este valor está acima do valor crítico proposto na NBR 8800/2008 que indica uma distorção máxima de $h/400$. Nos demais blocos os recalques diferenciais variam entre 0,3 e 20 cm.

A Figura 3 mostra uma planta com as linhas de isorecalques na área da caldeira medidos no dia 13 de junho de 2010. Estes recalques são decorrentes da movimentação diferencial das diversas peças uma vez que não há um referencial seguro para estabelecer valores absolutos. Pode ser observado na Figura 5 que

há uma concentração de valores maiores no entorno da caldeira. Também é visível a existência de uma direção preferencial dos recalques. Esta direção coincide com área não impermeabilizada e com a maior concentração de estruturas hidráulicas.

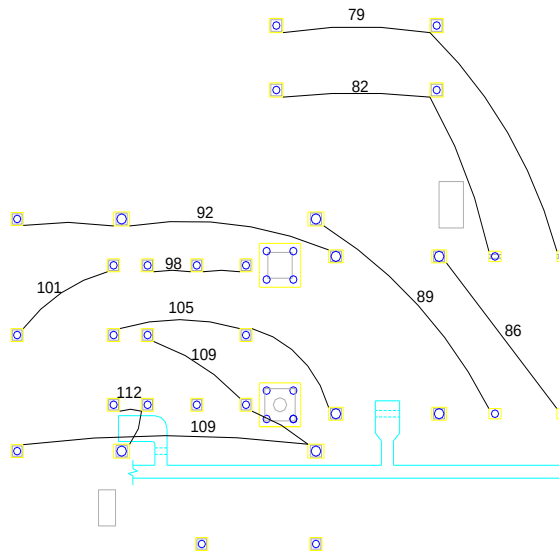


Figura 3. Planta esquemática de distribuição dos recalques na área da caldeira.

4.2 Vazamentos

Foi observado durante a visita de campo que as canaletas que escoam as águas tem várias trincas ou pontos de vazamentos. Estes vazamentos ocorrem nas laterais da canaleta ou nas juntas do piso. A Figura 4 mostra um destes casos de vazamento.



COBRAMSEG 2016

Figura 4. Vazamento na canaleta de escoamento de água na área da caldeira.

5 ANÁLISE DOS FATOS

5.1 Novas Sondagens SPT

Foi realizada uma nova campanha de sondagens no local em junho de 2010. Na Figura 5, os valores de N_{SPT} , obtidos nas novas sondagens comparados com as sondagens anteriores.

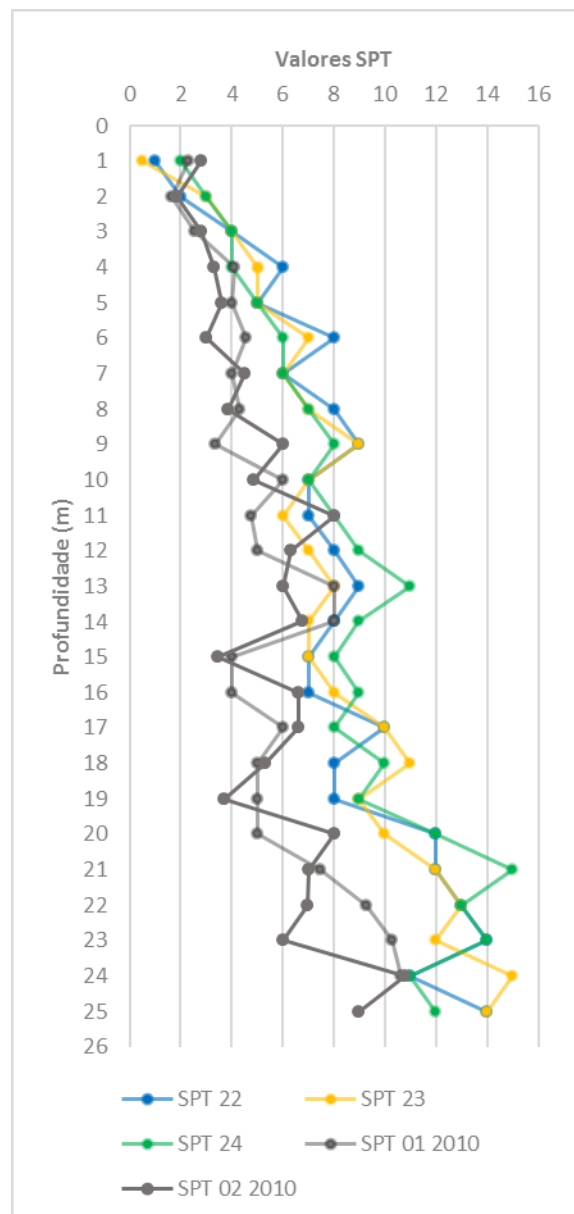


Figura 5. Valores de N_{SPT} .

Os valores são diferentes devido a várias razões. Belincanta (1998) aponta que os fatores que influem os valores de N_{SPT} são ligados ao equipamento, à época em que o ensaio foi

realizado e aos procedimentos de execução. Em que pesem estes fatores foi decidido por comparar as sondagens. A nova campanha de sondagem foi realizada com avanço a trado até a profundidade de 16 m, onde baseado nas sondagens anteriores acreditava estar o lençol freático. Este procedimento recomendado pela NBR 6484/2001 visa assegurar que não haja interferência da água de lavagem nos valores do Índice de Resistência à Penetração. Quando do início da lavagem, observou-se que não houve retorno de água, mesmo com adição de taxas de bentonita maiores que as convencionais e de revestimentos até 15 m. Isto indica que o solo nesta região é muito permeável. O baixo valor de N_{SPT} encontrado, aliado ao não retorno de água permitem inferir que há um vazio, ou solo muito poroso, nas profundidades maiores que 15 m.

Com relação a interpretação das sondagens, foi observado que os furos da primeira campanha foram executados com profundidades médias de 25 m. Da leitura das datas de execução dos furos cada furo foi aberto em um dia. Tal celeridade na abertura dos furos pode ser um indicativo de cravação direta do amostrador. Isto é, a sondagem não seguiu o procedimento padrão da NBR 6484/2001.

Ao interpretar as sondagens da primeira campanha, a identificação do solo indica solo argilo-siltoso. Pode ser observada inclusive na Figura 1 a granulação do solo, indicando um solo arenoso. As novas sondagens indicam que o solo é uma areia siltosa com pouca argila. Esta mudança de valor de N_{SPT} para menos e a alteração da classe do solo introduz uma variação no valor da carga admissível com uma redução de 30% (no método Decourt & Quaresma).

5.2 Outros Ensaios

O resultado do ensaio edométrico duplo realizado com amostra de solo coletada na área da caldeira a um metro de profundidade mostrado na Figura 6 indica que o solo é colapsível. A linha vermelha indica o comportamento do solo saturado. A linha azul indica o comportamento do solo na condição

natural de umidade. O potencial de colapso é de 33 %, para a tensão de 200 kPa.

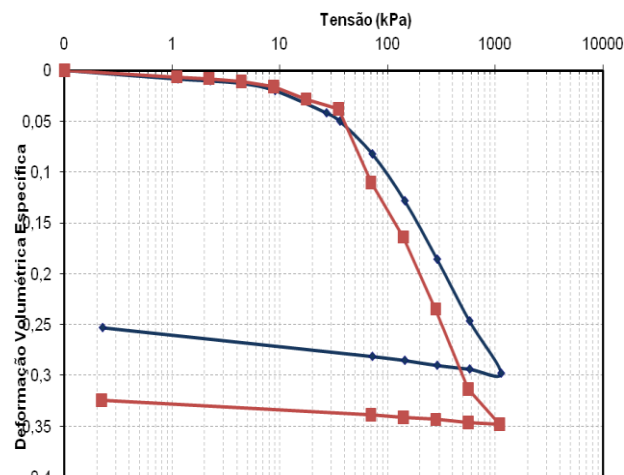


Figura 6. Resultado do ensaio edométrico duplo.

A fábrica em questão entrou em funcionamento no mês de maio de 2009, término do período das chuvas, início do período de seca. O verão de 2009/2010 foi atipicamente mais chuvoso. Dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) mostram que as chuvas foram muito superiores as dos últimos anos. No período de setembro de 2008 a fevereiro de 2009 foi registrado o valor de 946,3 mm, no período de setembro de 2009 a fevereiro de 2010 foi registrado 1714,4 mm de precipitação total na estação meteorologia de Poxoreo, distante 40 km do local da obra.

Esta condição climática implica em um grande aumento no teor de umidade do solo e no nível do lençol freático. O nível freático encontrado nas novas sondagens está na cota de 17,50 m, vale lembrar que ambas as sondagens foram realizadas no período da seca. Importante ressaltar que a última chuva registrada em Primavera do Leste no ano de 2010 até a data dos ensaios foi em 02 de abril de 2010.

Para dirimir dúvidas sobre o papel da umidade do solo no evento observado foram realizadas medidas de umidade do solo na profundidade de 1 m, exceto o terceiro furo, utilizando o método Speedy. Alguns valores encontrados são listados na Tabela 2, os valores de umidade do solo são menores nos furos mais afastados da área da caldeira.

Tabela 2. Valores de umidade medidos no local da caldeira

Furo	Umidade (%)
1	17,6
2	21,6
3	17,6
3 A (prof. de 4 m)	21,2

Na busca de ilustrar esta possibilidade de interferência da umidade no evento foi feita uma inspeção sob o piso da área da caldeira. A Figura 7 mostra a água acumulada sob este piso. Esta água foi encontrada no solo, em um local aberto para inspeção, após a quebra do concreto do piso.



Figura 7. Água acumulada sob o piso da caldeira.

A água do vazamento tem efeitos importantes sobre as fundações. Uma delas tem a ver com o aumento de umidade e outra com a ação físico – química sobre o solo.

A ação química decorre do efeito que os cátions e o pH tem sobre o solo. Uma destas ações decorre do pH que está por volta de 9, caracterizando uma água muito alcalina. Nesta condição muitos cátions são dessorvidos, principalmente os cátions de ferro e alumínio. A alcalinidade da água advém da carga de carvão e cinza que ela traz. Esta carga é basicamente de potássio, fosfato e sódio.

Para Lambe e Whitman (1969) o sódio é responsável pela desagregação de partículas de solo. Portanto, a água do vazamento que está entrando no perfil do solo sob a caldeira inferiu diretamente na estrutura do solo. É provável que o fluxo de água esteja promovendo também a

sua lixiviação levando os finos para profundidades maiores.

A curva de deformação (adensamento no caso de solos saturados) deste solo mostra que a deformação não é estanque. Isto é, o recalque acontece com grande intensidade na fase inicial do carregamento. Porém, o recalque continua a acontecer à semelhança do que acontece nos processos de adensamento secundário. A Figura 8 mostra a deformação edométrica do solo para um estágio de 564 kPa.

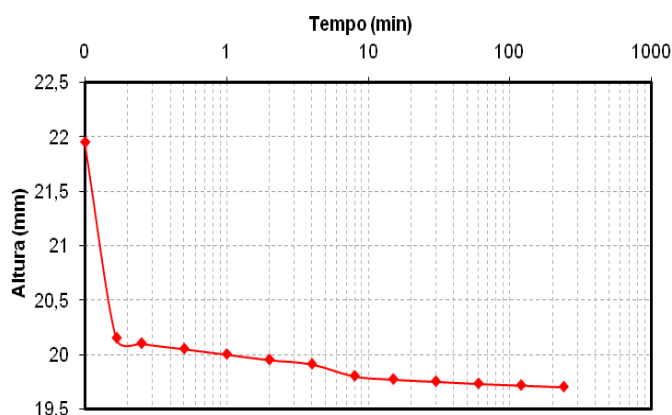


Figura 8. Curva de deformação edométrica.

6 TRABALHOS REALIZADOS

6.1 Dificuldades executivas

As soluções para este problema passam por limitações do funcionamento da fábrica. Isto é, a planta da fábrica não pode parar para que a manutenção seja realizada. Além das limitações de funcionamento da fábrica o próprio solo impõe algumas limitações. A Figura 9 mostra que no prédio da caldeira não há como entrar com equipamentos típicos de fundações. Neste caso, a limitação de espaço para manobras e de altura para equipamentos impõe severas restrições às soluções possíveis.



Figura 9: Esquema geral da área de trabalho.

6.2 Soluções sugeridas

Considerando risco de ruína iminente que o prédio da caldeira poderia sofrer, foi recomendado proceder a ação de recuperação em duas fases:

- imediate ação de desvio das águas da superfície; impermeabilização da superfície e construção de uma estrutura de drenagem mais eficaz;
- reforço das fundações dos dois blocos principais com a possibilidade de execução de microestacas injetadas ou Estacas Mega;

A primeira fase foi implementada em caráter de urgência e foi observado que após concluída esta fase, a estrutura estabilizou seus movimentos. A segunda fase foi executada utilizando Estacas Mega de 20 cm de diâmetro, as quais se mostraram mais práticas na execução.

6.3 Prova de carga da Estacas Mega

Foi observado que a relação entre as cargas e os deslocamentos é praticamente linear e que os deslocamentos para a carga máxima do ensaio são da ordem de 10 mm.

A relação linear entre o deslocamento e a carga é um indicador de que apenas o atrito lateral foi acionado. Outro aspecto interessante é a magnitude dos deslocamentos. Usualmente as estacas (escavadas) ensaiadas na região rompem com deslocamentos da ordem de 1 % do diâmetro. Contudo, esta estaca atingiu COBRAMSEG 2016

deslocamentos de 5 % do diâmetro e não mostrou a ruptura física. Cabe lembrar que para a NBR 6122/2010 a ruptura convencional se dá com 30 % do diâmetro. Isto é válido para os casos em que não há indicativo de ruptura física na curva carga – deslocamento.

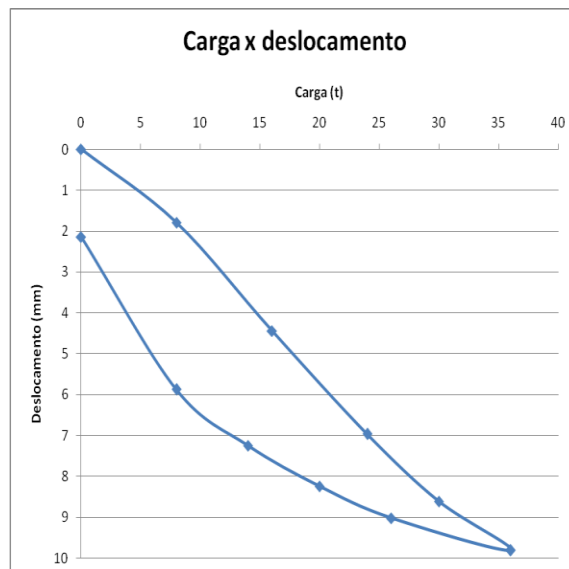


Figura 10: Curva carga deslocamento do topo da estaca.

CONCLUSÕES

Os recalques foram gerados em função do vazamento de água proveniente da caldeira, poluída com cinzas e com temperaturas da ordem de 50°C. Esta água ao infiltrar no solo causou colapso da sua estrutura com consequente recalque distorcional da torre. A água cáustica pela poluição com cinzas da fornalha, acentuou a velocidade dos recalques e promoveu a lixiviação dos finos do solo.

Também foi observado a qualidade da sondagem. A discrepância entre os perfis obtidos nas duas campanhas de sondagens evidencia que uma delas não foi conduzida adequadamente. Ainda que um acidente tenha provocado a patologia, os recalques poderiam ser evitados ou minimizados por uma adequada interpretação e caracterização do solo.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
NBR 6122 (2010): Projeto e execução de fundações. 91p.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
*NBR 6484 (2001): Solo - Sondagens de simples
 reconhecimento com SPT - Método de ensaio.* 17p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
*NBR 8800 (2008): Projeto de estruturas de aço e de
 estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.*
 237p.
- Barbosa, F. M. D. R. (2002). *Monitoramento de Recalque
 de um edifício construído sobre Solo Colapsível* -
 Dissertação de Mestrado. UFCG.
- Belincanta, A. ; Cintra, J. C. A. (1998). *Fatores
 Intervenientes em Variantes do Método ABNT para
 a Execução do SPT.* Solos e Rochas, São Paulo, v.
 21, n. 3, p. 119-133, 191.
- Dudley, J.H. (1970). *Review of collapsing soils.* Journal
 of the Soil Mechanics and Foundations Engineering
 Division, ASCE, SM 3, Pg. 925 – 947.
- Lambe, T.W & Whitman, R.V. (1969) *Soil Mechanics.*
 New York: JohnWiley and Sons.
- Santos, M. V. dos (1997). *Diagnóstico Sócio-Econômico-
 Ecológico do Estado de Mato Grosso - Pedologia -
 parte 1: consolidação de dados secundários.*
 SEPLAN. Cuiabá-MT.
- Vilar, O.M., Rodrigues, J.E. & Nogueira, J.B. (1981)
*Solos Colapsíveis: Um problema para a Engenharia
 de Solos Tropicais.* 1º Congresso Brasileiro Solos
 Tropicais, Anais, Rio de Janeiro, Vol. 1, Pg. 209 -
 224.