Características espectrais de solos aluviais submetidos à salinização

Luis Clenio Jário Moreira[1,2]
Adunias dos Santos Teixeira [2]
Alípio de Oliveira Leão[2]
Eunice Maia de Andrade[2]
Allana Rayra Holanda Sotero[1]

[1] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE
Caixa Postal - 62930-000 – Limoeiro do Norte - CE, Brasil
cleniojario@gmail.com

[2] Universidade Federal do Ceará - UFC/DENA
Caixa Postal 515 - 12227-010 - Fortaleza - CE, Brasil
{adunias, Alípio, eunice}@ufc.br

Abstract. This study aims to develop a methodology for identifying problems with soil salinity and sodicity in irrigated areas of the semiarid, using hyperspectral remote sensing. The study area was the Irrigation Perimeter of Morada Nova being cultivated for 40 years and they have problems of salinity. Part of saline soil collected in the area received treatment with gypsum and washing to remove the salt present and the remainder kept under natural condition. Using NaCl, CaCl and MgCl solutions were prepared in five levels of electrical conductivity which were applied on the soil samples simulating irrigation process and drying by evaporation. With a spectroradiometer (FieldSpec Pro FR 3) readings of the samples were performed. The correction gypsum had an effect improving chemical characteristics and by increasing the reflectance of the soil over the entire spectrum. The NaCl had the highest reflectance (pure salt) when it was added to the soil did not transfer this characteristic to the samples. Analyzing the absorption characteristics of the spectrum along with the Continuous removal was not possible to find a relationship between absorption bands with the level of soil salinity. When analyzing reflectance characteristics along the spectrum was observed that there was an increase in the samples treated with albedo plaster as it increases the salt concentration of the soil and the opposite was observed for untreated samples.

Palavras-chave: remote sensing, soil salinity, hyperspectral, sensoriamento remoto, solo salino, hiperespectral.

1. Introdução

A caracterização e delimitação das áreas afetadas por sais/sódio são extremamente importantes em regiões áridas e semiáridas, contribuindo na tomada de decisões referente à exploração e recuperação desses solos, visando garantir um futuro sustentável para produção agrícola local. As áreas salinizadas do Perímetro de Irrigação de Morada Nova no estado do Ceará com aproximadamente 40 anos de uso é um exemplo de área que necessita tal delimitação.

Dentre as técnicas de mapeamento que podem ser usadas, o Sensoriamento Remoto Hiperespectral é uma ferramenta extremamente valiosa já que padrões da presença e concentração de sais/sódio podem ser identificados, além de essa técnica possuir uma excelente cobertura espacial. Os dados para tal mapeamento podem ser obtidos de imagens hiperespectrais ou de espectros obtidos em campo e laboratório (FARIFTEH, 2007).

Segundo Farifteh et al. (2006), a reflectância do solo é uma propriedade cumulativa derivada do comportamento espectral inerente da combinação heterogênea de seus componentes. Para poder quantificar os atributos do solo a partir de sua resposta espectral, é necessário ter um bom entendimento das relações entre seus componentes e a radiação eletromagnética. De acordo com Jensen (2009), os principais fatores ou constituintes que afetam o comportamento espectral do solo são a textura (porcentagem de areia, silte e argila), umidade do solo, matéria orgânica, óxidos de Fe, rugosidade superficial e salinidade.

A maioria das características observadas em espectro de minerais salinos (400 - 2500 nm) pode ser atribuída a modos vibracionais de certos grupos moleculares, particularmente carbonato, borato, hidroxila de grupos aniônicos e moléculas de água (CROWLEY, 1991). A reflectância destes sais pode ser medida quantitativamente por espectrorradiômetros de laboratório ou campo.

Muitos estudos têm sido conduzidos nas duas últimas décadas para identificar bandas de absorção de diagnóstico nos espectros dos minerais e crostas de sais formadas na superfície dos solos no campo ou em laboratório (HUNT, et al. 1971; FARIFTEH, 2007). Esta informação é usada para estabelecer uma relação entre as propriedades espectrais de solos afetados por sal e presença ou abundancia de sais minerais no solo (FARIFTEH et al., 2008).

O sucesso na identificação de áreas com diferentes concentrações salinas pode ser aumentado se os fatores que afetam as características espectrais desses solos afetados são conhecidos. Sendo assim, é muito importante a análise dos espectros de reflectância obtidos a partir de solos contendo sais em diversas concentrações (FARIFTEH et al., 2008).

O objetivo deste trabalho é fornecer informações que leve a uma melhor compreensão do comportamento espectral dos solos afetados por sais, além de definir diretrizes para o uso de sensoriamento remoto hiperespectral no diagnóstico da presença e concentração de sais no solo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Coleta, preparo das amostras e composição experimental

Para obter medidas de reflectância de uma área sob condições naturais e identificar o efeito e a quantidade de sal presente na área é preciso conhecer e eliminar o efeito das interferências (atmosfera, cobertura vegetal, etc.) assim como as propriedades dos solos que afetam a reflectância. Por essa razão, um experimento simples de laboratório foi montado para controlar o acúmulo de sal presente nas amostras. A idéia era montar um experimento controlado onde a variação das concentrações de sal na superfície do solo fosse à única alteração na amostra, enquanto que os outros constituintes fossem mantidos constantes. Isto significa que qualquer mudança no espectro de reflectância do solo é principalmente devido a variações na concentração de sal das amostras, pois as outras propriedades do solo permaneceram as mesmas.

Dentro do Perímetro Irrigado de Morada Nova foi escolhida uma área (coordenadas geográficas 5º 07’ de latitude sul, 38º 16’ de longitude oeste) degradada, que não está sendo cultivada. Foi coletado solo da camada superficial de 0 a 15 cm, levado para laboratório, homogeneizado, triturado e passado na peneira de 2 mm para reduzir o efeito da rugosidade. Em seguida esse material foi dividido em duas partes:

1ª - Depois de passado na peneira de 2 mm esse material foi submetido a salinização através da irrigação com soluções salinas (Tabela 1) sem ser feito nenhuma lavagem ou correção.

2ª - A outra parte do solo foi feito uma lavagem e em seguida aplicado gesso (detalhes em Duarte et al. (2007), depois lavado novamente com o objetivo de retirar o sal do solo e só depois elas foram submetidas às simulações de salinização (Tabela 1).

O material foi colocado dentro de cilindros de PVC de 7,5 cm de diâmetro por 7,0 cm de altura totalizando volumes de aproximadamente 309 cm^3 de solo por amostra (Figura 1a). Em cada situação descrita anteriormente foram usados três sais: cloreto de sódio (NaCl), cloreto de magnésio ($MgCl_2$) e cloreto de cálcio ($CaCl_2$). De cada sal foram preparadas soluções salinas (mistura de água destilada com o sal) de modo que cinco classes de salinidade fossem simuladas nas amostras (classes descritas na Tabela 1) e analisadas como proposto pelo laboratório de salinidade EUA (Richards, 1954).

Tabela 1 – Classes de salinidade em função da condutividade eletrica (CE) (Richads 1954).

Classes de salinidades	CE (dS/m) Richads (1954)	CE (dS/m) Soluções Preparadas[1]
Não salino	< 2	0,00
Ligeiramente salino	2 – 4	5,48
Moderadamente salino	4 – 8	9,52
Muito salino	8 – 16	17,25
Extremamente salino	> 16	61,33

[1]Soluções preparadas com concentrações um pouco acima dos limites propostos por Richads (1954) para garantir o máximo de salinização no nível simulado.

Para as duas situações, solo tratado (ST) e não tratado (NT), os três sais usados e os cinco níveis de salinidade foram feitas seis repetições constituindo-se em um delineamento experimental fatorial com 180 amostras no total.

Depois de preparado os cilindros de solos foram agrupados por tratamento (tipo e nível de concentração dos sais) onde foram simulados cinco processos de irrigação com as soluções salinas e depois secagem. As amostras foram colocadas em bandejas plásticas e dentro de cada bandeja também foi colocada esponja visando simular a ascensão do lençol freático (Figura 1). Todas as mostras foram secas ao sol (simulando o processo de evaporação) e depois medidos os espectros para posteriores análises.

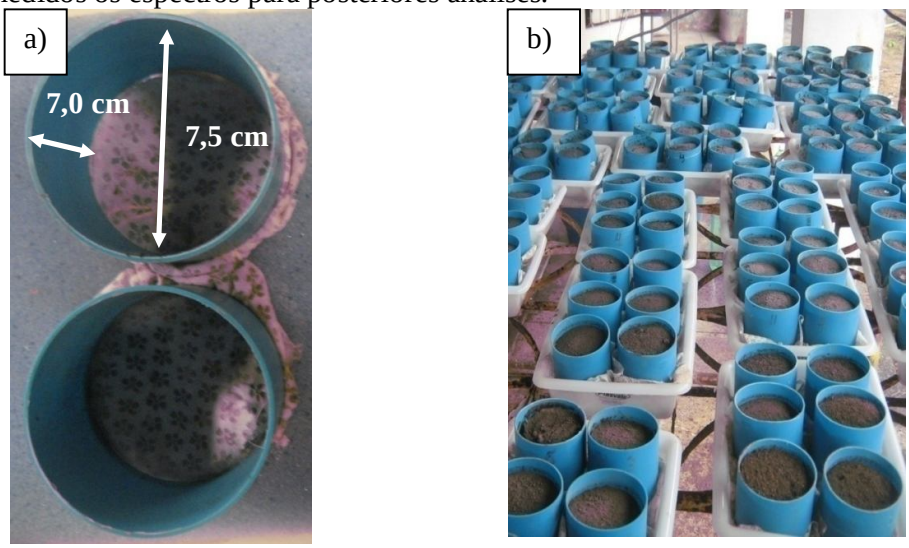


Figura 1 – a) Cilindros (dimensões) sob esponja e b) bandejas com as 6 repetições (amostras de solo) por tratamento

2.2 Obtenção dos dados espectrais em laboratório

Para obtenção dos dados espectrais em laboratório foi utilizado um sistema sensor FieldSpec Pro FR 3 (o qual opera na região de 350 a 2500 nm). Todas as medições espectrais foram feitas em um quarto totalmente escuro para evitar a contaminação por luz difusa. A geometria do sistema foi baseado na posição do sensor disposto verticalmente a 7 cm de distância sobre a amostra. As amostras foram iluminadas com uma lâmpada halogena de 250 W, com refletor parabólico e feixe colimado para o plano visado, com um ângulo zenital aproximadamente de 30°. Foi utilizada como padrão de referência absoluta uma placa spectralon branca, com 100% de reflectância calibrada. Foram realizadas 3 leituras de reflectância bidirecional para cada amostra, sendo utilizada a curva espectral média como a curva da amostra.

2.3 Processamento dos dados espectrais

a) Obtenção do fator de reflectância (FR) ou Reflectância (%)

Os dados foram exportados a partir do softwareView Spec para arquivos de texto os quais posteriormente foram importados para o *software* Excel. Os fatores de reflectância dos dados de laboratório foram gerados a partir da razão entre as medidas obtidas de radiância para as amostras pelas medidas da radiância obtida da placa de referência (Equação 1).

$$FR\ (\lambda) = \frac{L_a(\lambda)}{L_r(\lambda)} \quad (1)$$

b) Remoção do contínuo (RC)

O processo de remoção do contínuo é realizado por meio de uma divisão dentro do espectro para normalizar as bandas de absorção em uma referência comum. Portanto, os valores de reflectância são normalizados em 1,0 de tal forma que os pontos dos espectros resultantes sejam ajustados entre o contínuo e os espectros menores que 1,0, onde ocorrem feições de absorção. A formulação matemática para a remoção do continuo dos espectros de reflectância é apresentada na Equação 2 (CLARK, 1999). Cabe destacar que o espectro do continuo pode ser formulado matematicamente pela equação da reta, definida pelos coeficientes angular e linear.

$$\rho_{CR\lambda} = \frac{\rho_{Original\ \lambda}}{\rho_{Contínuo\ \lambda}} \quad (2)$$

Em que $\rho_{CR\lambda}$ é o fator de reflectância direcional com o contínuo removido; $\rho_{original\ \lambda}$ é o fator de reflectância direcional original; $\rho_{contínuo\ \lambda}$ é o espectro do contínuo e λ representa o comprimento de onda.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise do solo usado no experimento

Com o tratamento (aplicação de gesso e lavagem) esperava-se que a CE fosse baixada a menos que 2 dS/m, ou seja, diminuição significativa no teor de sais presentes no solo. Como pode ser observado na Tabela 2 isso não foi totalmente possível devido às características físicas e químicas do solo, tornando muito difícil seu manuseio. Mesmo assim ainda foi possível diminuir a CE, Mg e o Na em boa quantidade.

Tabela 2. Análise química do solo antes e depois da aplicação de gesso ($CaSO_4$ $2H_2O$) e lavagem.

Amostras	M.O (g/kg)	pH	Ca (mmolc/dm^3)	Mg (mmolc/dm^3)	Na (mmolc/dm^3)	PST (%)	CE (dS/m)
Não Tratado (NT)	3,55	7,1	93,7	31,7	52,61	27	6,09
Solo Tratado (ST)	1,18	7,2	829,3	29,8	16,96	2	5,40

3.2 Características espectrais dos sais usados

Os espectros de reflectância dos sais minerais puros assim como do gesso usado no tratamento do solo são mostrados na Figura 2. Na assinatura espectral do gesso foi encontrada uma fraca banda de absorção em 1176 nm e outras bandas mais fortes em 1444, 1495, 1536, 1749, 1944, e 2218 nm. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Hunt et al., (1971), Clark (1999) e Howari et al, (2002).

O NaCl apresenta maior reflectância no NIR e SWIR em relação aos outros sais e não apresentou nenhuma banda de absorção característica. As bandas em 1450 e 1950 nm no espectro desse sal estão relacionadas com inclusões fluidas e/ou água absorvida (CROWLEY, 1991). No espectro do MgCl podemos identificar uma fraca banda de absorção em 700 nm e bandas mais fortes em 975, 1190, 1450 e 1915 nm. Essas bandas no VNIR e SWIR são características desses minerais, estando presentes na maioria de seus espectros e que está associada principalmente com internos modos de vibração do grupo aniônico e/ou água presa, adsorvida ou de alguma forma associada com a estrutura cristal dos minerais. A assinatura do CaCl apresentou fortes bandas de absorção em 950, 1190, 1222, 1444, 1778, 1830, 1970 e uma banda mais fraca em 2188 nm. A absorção identificada nos espectros do gesso e dos sais estudados corrobora bem com outros resultados publicados (HUNT et al, 1971; HOWARI et al, 2002; FARIFTEH et al, 2008) diferindo apenas ocasionalmente a posição (comprimento de onda) de máxima absorção que são ligeiramente deslocados, fato que pode ser atribuído as variações na pureza dos minerais, granulometria, forma e ordem estrutural (DRAKE, 1995).

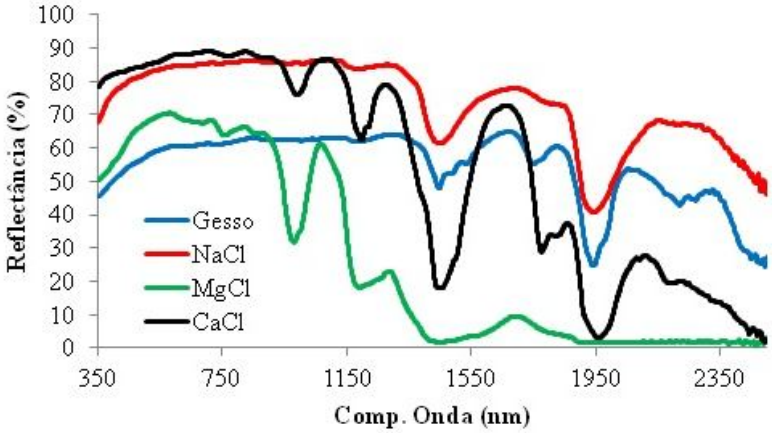


Figura 2 – Assinatura espectral do gesso e dos três sais usados.

3.3 – Características de absorção induzidas pelo sal - Remoção do Contínuo

Para analisar e explorar o efeito da salinidade do solo nas propriedades ópticas, as relações entre condutividade elétrica (CE) e características espectrais, em especial absorção em determinados comprimentos de ondas foram consideradas. Nesse estudo a análise foi restrita aos comprimentos de ondas entre 1000 e 2500 nm, já que a maioria dos diagnósticos nas assinaturas espectrais de sais minerais ocorre nas regiões de NIR e SWIR como sugerido por Farifteh et al., 2008.

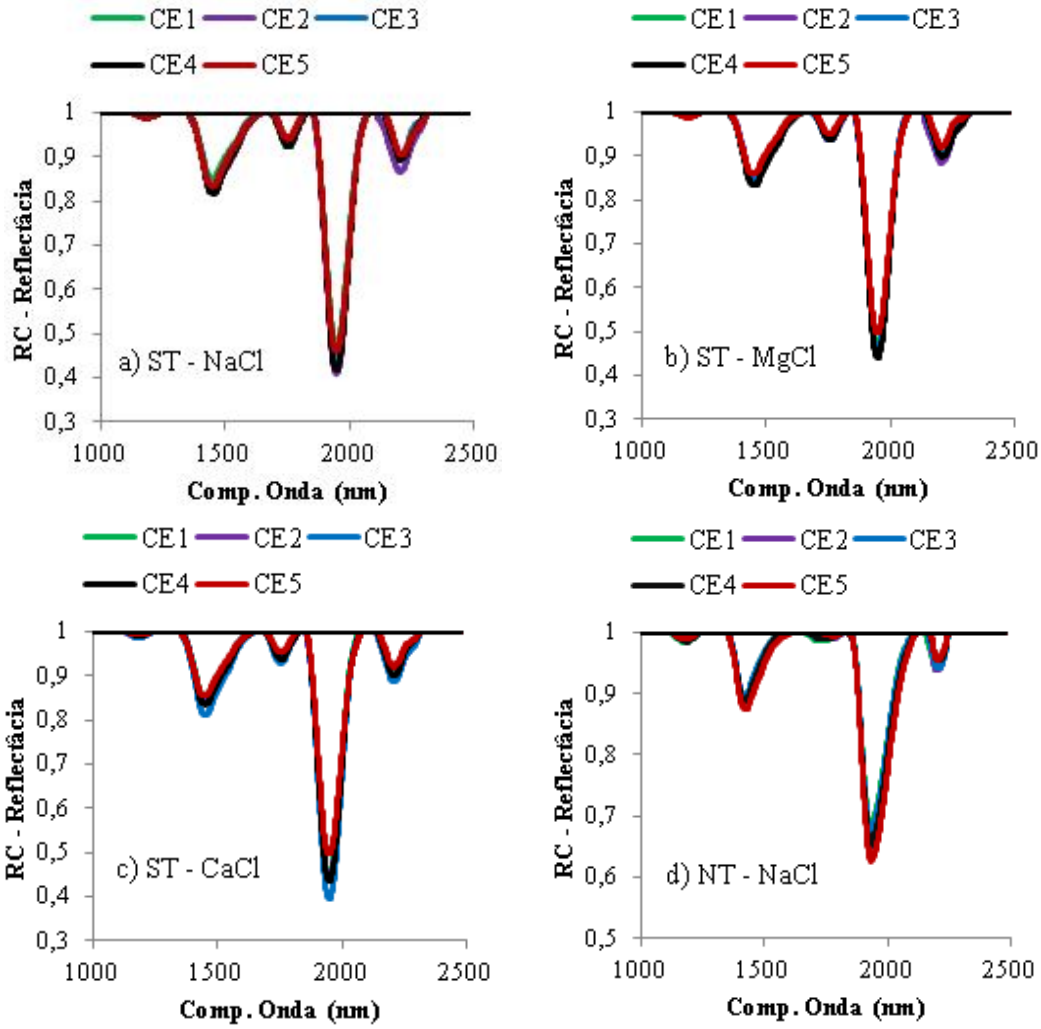
Nessa faixa do espectro foram selecionadas 5 bandas espectrais centradas em 1176, 1425, 1749, 1950 e 2200 nm. Apesar da maior reflectância ao longo de todo o espectro das amostras de solo tratado em relação as não tratadas, as bandas de absorção das amostras tratadas atingiram uma maior profundidade de absorção no espectro do contínuo (Figura 3), em especial a centrada em 1950 nm.

As amostras de solo na Fig. 3.a e d contêm o NaCl para o solo tratado e não tratado, respectivamente. Em regiões áridas e semi-áridas esse sal está presente em maior quantidade em relação aos outros estudados e ocorrem principalmente na forma de cristais ou eflorescência como resultado da evaporação da água salinizada como afirma Pastor et al., (2010). Das bandas presentes no espectro do solo salinizado com NaCl só as centradas próximo a 1176, 1450 e 1950 nm estão presente no espectro puro do sal (Figura 2).

Os espectros na Figura 3.b e 3.e foram obtido de amostras de solo tratado com soluções de MgCl. Em comparação com o espectro desse sal puro (Figura 2) a única banda de absorção

que apareceu no sal e no solo na mesma posição foi a 1190 nm. Nas Figuras 3.c e 3.f são apresentados o espectro das amostras de solo salinizado com CaCl no solo tratado e não tratado, respectivamente. As bandas 1222 e 1830 nm que aparecem no espectro desse sal não aparecem no espectro do solo. Os comprimentos de ondas com maior absorção nas bandas do solo mudam de posição com a concentração de sal como pode ser evidenciado na banda referente ao comprimento 1778 nm do espectro do sal que aparecem no solo não tratado entre 1720 e 1820 nm corroborando com os resultados obtidos por Farifteh (2007).

De modo geral quase todas as bandas analisadas nas amostras de solo submetidas aos três sais, não possuíram relação direta entre o aumento da concentração de sal e profundidade de absorção da banda. Apesar da não existência dessa relação tão clara, em quase todas as bandas do solo tratado, a maior concentração de sal significou menor profundidade de absorção da banda. Já nas bandas de absorção do solo não tratado a maior concentração de sal teve uma maior profundidade de absorção exceto a banda centrada em 2200 nm que se torna menos desenvolvida à medida que a amostra torna-se mais salina em todos os espectros analisados. A degradação dessa banda como é sugerida por DeHaan e Taylor (2002), pode ocorrer como resultado da perda da cristalização dos minerais de argila, fato que está associado à salinização.



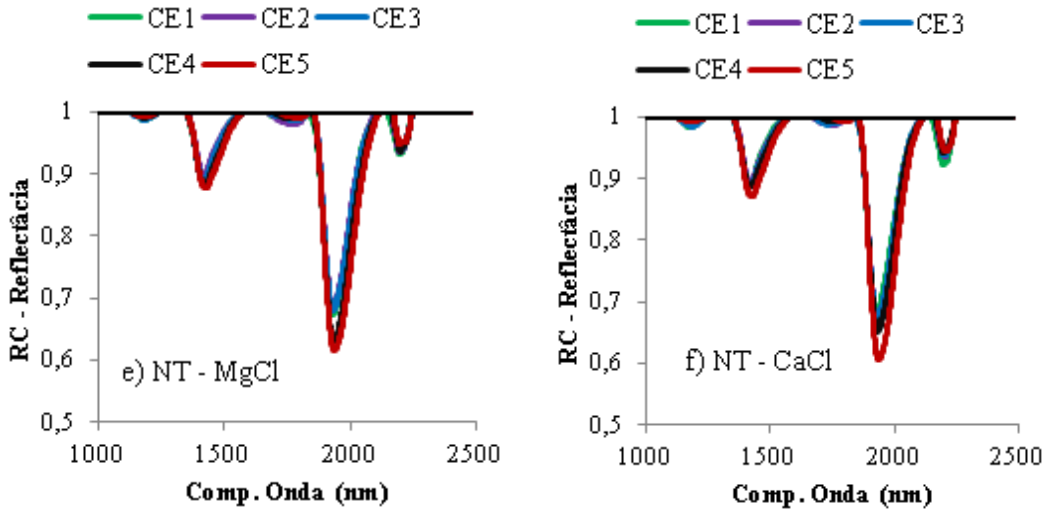


Figura 3 – Remoção do contínuo – análise de absorção das bandas centradas em 1176, 1425, 1749, 1950 e 2200 nm. ST – Solo tratado e NT – Solo não tratado com o gesso. Soluções aplicadas às amostras de solo: CE1 – Água destilada, CE2 – Solução salina de CE 2,5 dS/m, CE3 – Solução salina CE 5 dS/m, CE4 – solução salina CE 15 dS/m e CE5 – Solução salina de CE 18,1 dS/m.

3.4 Características de reflectância induzidas pelo sal – Albedo normalizado

O albedo normalizado considerado na Figura 4 é a relação entre o albedo do solo tratado com a solução salina ($\sum \rho_\lambda$) dividido pelo albedo do solo tratado com água destilada. Na Figura está exposto o albedo dos extremos CE1 (0 dS/m) e CE5 (18 dS/m), nela podemos observar que o albedo global aumentou à medida que foi adicionado sal para as amostras de solo tratado (ST) e diminuiu nas amostras de solo não tratado (NT), comprovando a influência do gesso aplicado no aumento da reflectância.

Em relação aos sais uma situação não esperada ocorreu. O albedo das amostras de solo com NaCl foi inferior aos dos solos com os outros sais (solo tratado e não tratado), quando na verdade esperava-se ser maior como foi observado por Howari et al,. (2002); Farifteh et al., (2008). Isso pode está associado a pouca concentração de sal no solo ou o estado de umidade das amostras (não medidas) que pode ter diminuído o espectro de reflectância do NaCl.

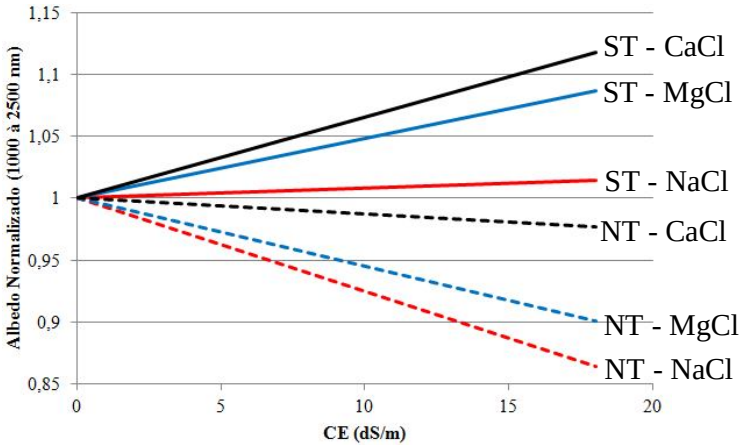


Figura 4 – Albedo normalizado (1000 à 2500 nm) em função da condutividade elétrica CE (dS/m) da solução salina em que o solo irrigado para as amostras tratadas (ST) e não tratadas (NT).

4. Conclusões

- Não foi possível traçar uma relação direta entre a concentração e as variáveis ligadas a reflectância do solo, apesar da presença do sal influenciar nas principais bandas de absorção do espectro e no albedo normalizado.
- O tratamento feito no solo com o gesso aumentou a reflectância ao longo de todo o espectro e melhorou as características químicas do solo.
- Houve diferenças quanto aos sais usados para salinizar o solo. Nas variáveis analisadas o sal que aumentou mais a reflectância do solo foi o CaCl seguido por MgCl e NaCl.
- Por ter maior reflectância no sal puro, esperava-se que o NaCl produzisse uma maior reflectância nas amostras de solo.

Referências Bibliográficas

Clark, R.N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In Rencz, A.N. (Ed.) **Manual of remote sensing, Remote sensing for the earth sciences** (pp. 3-58). New York, NY, USA: John Wiley & Sons. 1999.

Crowley, J.K. Visible and near-infrared (0.4–2.5 μm) reflectance spectra of playa evaporite minerals. **Journal of Geochemical Research,** v.96, n. B10, p. 16231–1624, 1991.

Dehaan, R.L., Taylor, G.R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. **Remote Sensing of Environment,** v.80, p. 406–417, 2002.

Drake, N.A. Reflectance spectra of evaporate minerals (400–2500 nm): application for remote sensing. **International Journal of Remote Sensing** v.16, n. 14, p. 2555-2571, 1995.

Duarte, S. N.; Dias, N.S.; Teles Filho, J.F. Recuperação de um solo salinizado devido ao excesso de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, v. 12, n. 3, p. 422-428, 2007.

Farifteh, J. Imaging Spectroscopy of salt-affected soils: Model-based integrated method. Dissertation, ITC. Enschede, The Netherlands, (2007).

Farifteh, J., Farshad, A., & George R.J. (2006). Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*, Volume 130, 3-4, 191-206.

FARIFTEH, J., VAN DER MEER, F., VAN DER MEIJDE, M., ATZBERGER, C. Spectral characteristics of salt-affected soils: a laboratory experiment. **Geoderma** 145, 196–206. 2008.

Howari, F.M., Goodell, P.C., Miyamoto, S. Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. **Journal of Environmental Quality**, Vol. 31, n°. 5, 1453-1461, 2002.

Hunt, G.R., J.W. Salisbury, and C.J. Lenhoff. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks. **IV**. Sulphides and sulphates. Mod. Geol. 3:1–4, 1971.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Pastor, I. M; Pedreño, J. N; Koch, M; Gómez, I; Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. **Geoderma**, v. 158. p. 55 – 65, 2010.

Richards, L.A. Diagnosis and Improvement of Saline and Saline and Alkali Soils, (Agricultural Handbook No. 60), US Department of Agricultural, US Government printing office, Washington, DC. 1954.