



um registro fidedigno da geometria e estrutura interna dos depósitos costeiros, os quais auxiliam no refinamento dos modelos geológicos.

### Metodologia

A primeira etapa consiste na aquisição das seções através no modo *Common Offset*. Este método é empregado através do deslocamento simultâneo e no mesmo sentido das antenas transmissora e receptora, posicionadas a uma distância constante (*fixed offset*).

Durante o levantamento diversos parâmetros devem ser selecionados de acordo com os objetivos e com os tipos de alvos a serem identificados. A distância entre os pontos de amostragem (resolução horizontal – *step size*), a profundidade da janela de aquisição, a separação entre as antenas, o empilhamento dos traços (*stacking*) a orientação das antenas, a localização e o espaçamento

entre as linhas são alguns desses parâmetros (Jol & Bristol, 2003). Além disso, outra importante questão a ser considerada durante a aquisição relaciona-se com o posicionamento espacial das seções, principalmente em áreas de relevo acidentado, onde é necessária a realização de correções topográficas.

A segunda etapa do trabalho é a de processamento das seções. Uma seção de Georradar pode ser comparada a um afloramento, contendo feições relacionadas com a gênese e com a alteração natural e/ou antrópica das rochas (Fig. 2). O que define os métodos de processamento a serem utilizados são os objetivos e os tipos de feições que se desejam identificar. Em levantamentos para engenharia, o interesse pode estar na localização de dutos e outros alvos de origem antrópica. Dessa forma, os processamentos não poderão ser os mesmos aplicados em estudos geológicos, em que muitas vezes, esses alvos são removidos do registro.

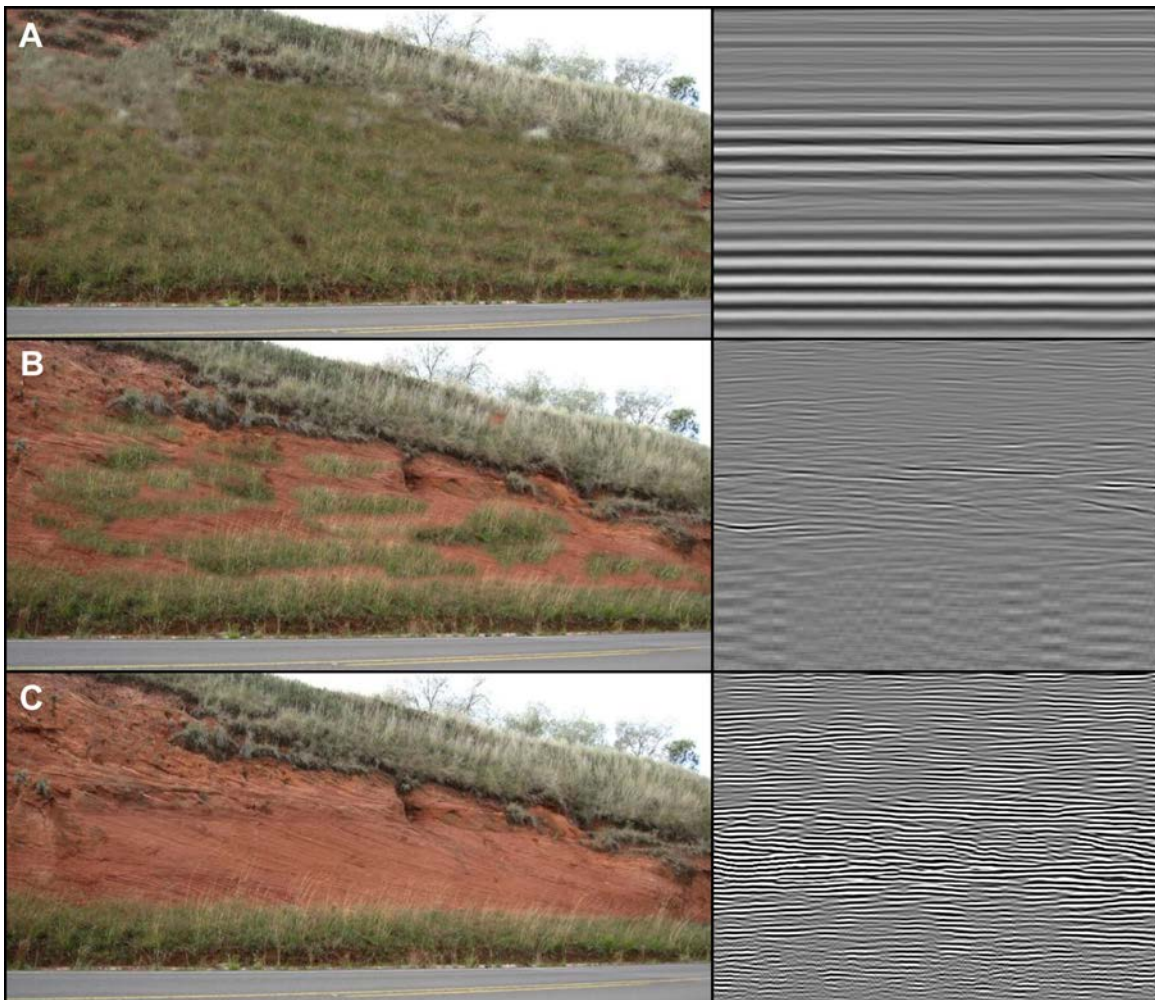


Figura 2 – Analogia entre o processamento de seções de Georradar com a limpeza de um afloramento rochoso. A) As feições geológicas da seção encontram-se mascaradas por ondas aéreas e da superfície do terreno, que aparecem como refletor plano-paralelos. B) Na seção, um primeiro processamento remove os refletor plano-paralelos, permitindo a visualização de alguns refletor relacionados aos depósitos sedimentares. C) Finalmente, a aplicação de filtros de frequência e ganhos ressalta os refletor, deixando a seção pronta para a interpretação (modificado de Rosa, 2012).

## Equipamentos

Os coletores que vêm sendo utilizados nas aquisições são o modelo SIR-3000 da empresa GSSI™ (Geophysical Survey Systems, Inc.), e o Cobra Plug-In™ (Radarteam Sweden AB), sistema sem fios utilizado com as antenas aéreas do mesmo fabricante. São empregadas para a aquisição antenas de contato nas frequências de 100, 200, 270 e 400 MHz, fabricadas pela GSSI™, as quais são utilizadas no modo monoestático. Podem também serem utilizadas antenas aéreas nas frequências centrais de 40, 70 e 150 MHz, fabricadas pela Radarteam Sweden AB, no modo mono ou bi estático acoplado a um módulo de potência PRFPLUS-600™ da empresa Geoscanners AB. Durante a aquisição o sistema de GPR é conectado a um receptor GNSS Topográfico ou Geodésico permitindo o posicionamento das seções através do método diferencial.

## Aquisição

Na aquisição realizada no modo *Common Offset*, as antenas podem ser deslocadas manualmente, através de um caminhamento, ou acopladas a um veículo. A aquisição é realizada com as antenas orientadas perpendicularmente ao sentido de deslocamento, a uma velocidade média de 15 km/h quando acopladas ao veículo (Fig. 3). A distância entre os pontos de leitura, que define a resolução horizontal, normalmente é de 10 cm. As profundidades das janelas de aquisição, dependendo do alvo, variam de 300 a 1000 ns, que correspondem a profundidades aproximadas entre 15 e 45 m. Cada traço da seção representa o empilhamento de 32 leituras (*stacking*), aplicando-se um ganho do tipo AGC (*Automatic Gain Control*) com a finalidade equalizar a amplitude dos traços, que tende a ser atenuada em profundidade. A constante dielétrica utilizada para converter o tempo em profundidade durante os levantamentos, geralmente relacionada com depósitos arenosos, é a de valor 10, que representa uma velocidade de 0,09 m/ns, (Davis & Annan, 1989).



Figura 3 – Arranjo bi estático utilizando antenas aéreas com frequência central de 150 MHz acopladas a um veículo para aquisição em terrenos sem obstáculos.

## Processamentos

Os processamentos são realizados em três programas computacionais distintos, o Radan™, o Reflex-Win® e o Prism2®.

A primeira etapa consiste da abertura das seções brutas no programa Radan™, onde é aplicado um filtro espacial para a remoção de um ruído sistemático relacionado com a onda aérea (*background removal*). Este ruído deve-se à utilização de antenas aéreas e, em algumas situações com as antenas de contato acopladas ao solo, quando ocorre o desacoplamento do solo das mesmas devido a irregularidades no terreno. Este fenômeno se manifesta na forma de refletores plano-paralelos contínuos que se repetem ao longo de toda a janela da seção (Fig. 4). Devido à presença desses refletores, não é possível observar as reflexões oriundas dos depósitos sedimentares em tempo real.

Em seguida, é aplicado um filtro de frequência (passa banda) para reduzir ruídos aleatórios, cortando frequências mais baixas e mais altas que a frequência central da antena. Um ganho do tipo exponencial pode ser empregado para a ampliação dos sinais atenuados em profundidade, os quais são ainda mais atenuados após a realização de outros processamentos. Esse procedimento suprime a identificação do freático, que pode ser observado em algumas seções como um refletor diacrônico com tendência horizontal ou similar a da topografia, acima do qual há uma diminuição na amplitude dos refletores. Com a aplicação do ganho, as amplitudes são equalizadas ao longo das seções. Finalmente, a posição do topo da seção é corrigida, ajustando a profundidade zero com a superfície do terreno.

Após o processamento no Radan™, os dados são importados para o programa Reflex-Win® ou Prism2®, onde é aplicado um segundo filtro de frequência trapezoidal (*Ormsby bandpass*). Esse procedimento é realizado devido à remoção muito mais eficiente dos ruídos presentes na seção e à existência de mais possibilidades na determinação dos parâmetros dos filtros, diferentemente dos filtros de frequência existentes no programa Radan™. Nestes dois programas é possível determinar além dos limites inferior e superior de corte, os limites de um platô, definindo um filtro com forma trapezoidal. Para tanto é necessária a identificação de picos anômalos, os quais são de fácil determinação no espectro de frequências. Assim, é possível estabelecer de maneira precisa os parâmetros que devem ser aplicados neste filtro trapezoidal.

Posteriormente, as seções são exportadas e novamente visualizadas no programa Radan™, onde se procede com a correção topográfica e, caso seja necessário, é aplicado mais um ganho. A conversão do tempo de viagem da onda para profundidade em metros é realizada através da obtenção de dados físicos proveniente de sondagens ou através do método de levantamento CMP (*Common Mid Point*), utilizando-se duas antenas.

Em muitos casos surge a dúvida se o processamento alterou o registro original, ou seja, se os procedimentos criaram refletores inexistentes no dado real. Seguindo o que diz Sangree & Widmier (1979) se referindo à sísmica, “o intérprete deve aprender a lidar com os problemas, exceções e armadilhas”. Para resolver tal questionamento pode ser empregado, quando ocorrem dúvidas, um procedimento inspirado em outra área das Geociências, a Geocronologia. Através do princípio da reprodutibilidade é possível validar os dados com base na sua repetição e reprodução.

Partindo do princípio que os ruídos do ambiente são predominantemente aleatórios e que os dados devem se reproduzir, são analisadas seções adquiridas repetidamente em um mesmo local. Sobre dados oriundos de múltiplos levantamentos, realizados com antenas distintas ou em sentidos opostos sobre o mesmo perfil, são delimitados os principais refletores. Esse procedimento pode ser realizado após um processamento mínimo, realizado no programa Radan™, contemplando somente a aplicação do filtro espacial (*background removal*) e do ganho.

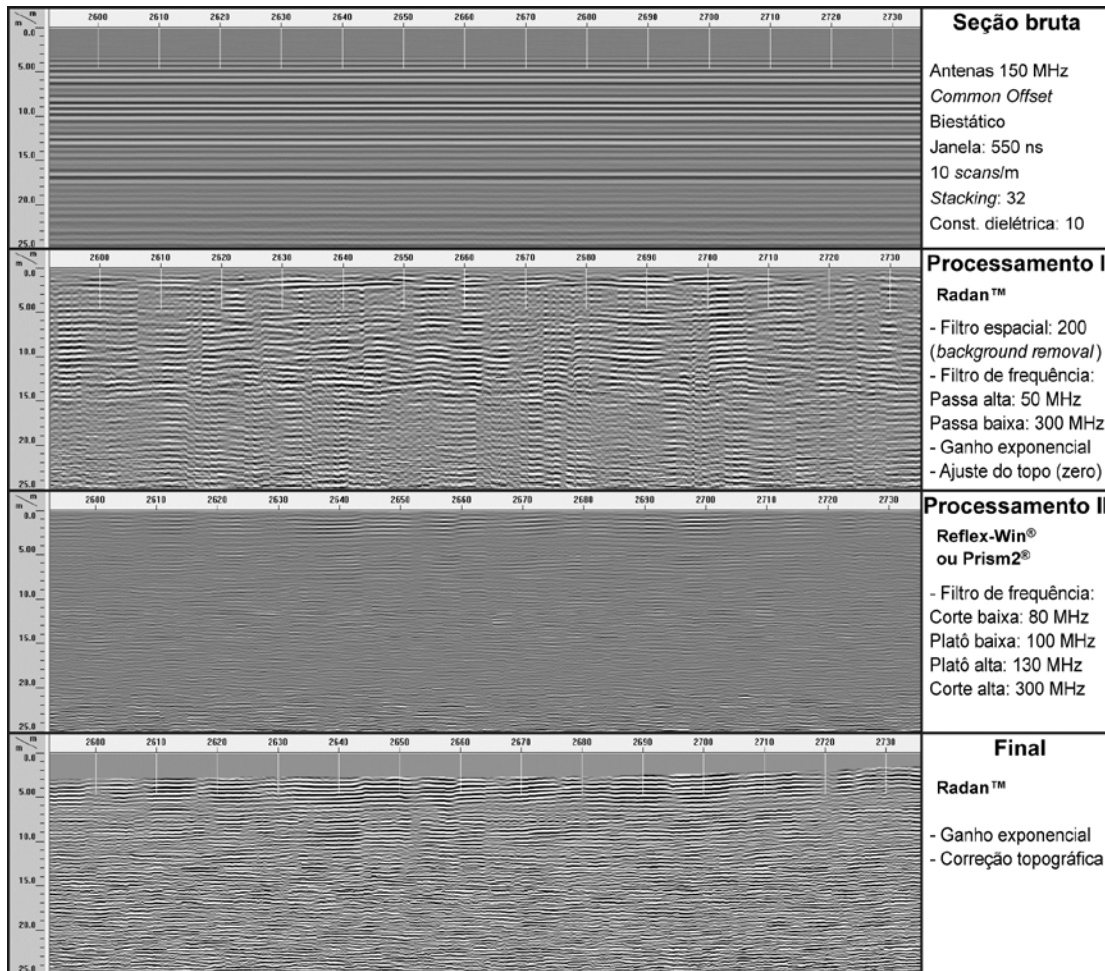


Figura 4 – Exemplo de uma sequência de processamentos aplicada nos dados adquiridos com um arranjo de antenas aéreas no modo bi estático (modificado de Rosa, 2012).

### Conclusões

Após 15 anos de levantamentos de dados ao longo da porção emersa da Bacia de Pelotas foi possível o desenvolvimento de um fluxograma relacionado tanto à aquisição, quanto ao processamento. Este tem propiciado a obtenção de dados com características e resolução em escala de afloramentos de rochas.

A qualidade dos dados, atrelada à facilidade de aquisição de grande volume de seções, têm possibilitado aos intérpretes a identificação das relações geométricas e de

preenchimento em sistemas deposicionais costeiros, contribuindo sobremaneira para a parametrização e melhor compreensão da evolução geológica..

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq através do apoio financeiro aos projetos: 472484/06-0; 454804/2008-3, 473227/2010-0; 508477/2010-7; ao apoio em infraestrutura do projeto PETROBRAS/FAURGS 2736-7 e ao termo de cooperação PETROBRAS/UFRGS 0050.0071323.11.9.

## Referências

- Barboza, E. G., 1999. Terraços da Margem Leste da Laguna dos Patos, Litoral Médio do Rio Grande do Sul: Estratigrafia e Evolução Holocênica. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Dissertação de Mestrado. 150p. <<http://hdl.handle.net/10183/2865>>.
- Barboza, E. G., Marques, E. J. J. & Tomazelli, L. J., 1999. A Utilização do GPR na Identificação de Paleofeições do Registro Estratigráfico no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1999, Porto Seguro-BA. Anais e Guias das Excursões, v. CD, zcp033.pdf.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Tomazelli, L. J. & Dillenburg, S. R., 2008. Análise estratigráfica da barreira pleistocênica III através da técnica de georadar na região de Osório - RS. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba - PR. Anais, 1003-1003.
- Barboza, E. G., Dillenburg, S. R., Rosa, M. L. C. C., Tomazelli, L. J. & Hesp, P. A., 2009. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 579-583.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Dillenburg, S. R. & Tomazelli, L. J., 2010. The Holocene Coastal Barrier of Rio Grande do Sul (Southern Brazil): an Evaluation Based on GPR Data. In: 2010 Meeting of the Americas. *Eos Trans. AGU, Meet. Am. Suppl.*, 91, NS11A-03.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Hesp, P. A., Dillenburg, S. R., Tomazelli, L. J. & Ayup-Zouain, R. N., 2011. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 646-650.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Aguilár, C. G. & Soldateli, A., 2012. Aplicação de georadar nas dunas do cabo Polônio (Uruguai). In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia, Santos-SP. Anais= Proceedings. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. CD.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Dillenburg, S. R. & Tomazelli, L. J., 2013. Preservation potential of foredunes in the stratigraphic record. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1265-1270.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Dillenburg, S. R., Biancini da Silva, A. & Tomazelli, L. J., 2014a. Stratigraphic analysis applied on the recognition of the interface between marine and fluvial depositional systems. *Journal of Coastal Research*, SI 70, 687-692.
- Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Dillenburg, S. R., Ayup-Zouain, R. N., Tomazelli, L. J. & Biancini da Silva, A., 2014b. Evolução da Barreira Costeira Holocênica na Região do Estreito – Litoral Médio do Rio Grande do Sul/Brasil. In: XIX Congresso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. *Actas*, v. CD - S12-3.
- Becker, J. E. G., Barboza, E. G., Dillenburg, S. R. & Stevaux, R. S., 2008. Uso de GPR Aliado a Dados de Furo de Sondagem para Caracterizar a Evolução da Barreira Costeira Holocênica no Balneário de Dunas Altas, RS. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba - PR. *Anais*, v. 1, 1021-1021.
- Biancini da Silva, A., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Fracalossi, F. G., 2010. Caracterização dos Depósitos Sedimentares em Subsuperfície no Setor Meridional da Planície Costeira Sul de Santa Catarina. *Gravel*, v. 8, p. 1-7.
- Biancini da Silva, A., Barboza, E. G., Martinho, C. T. & Rosa, M. L. C. C., 2013. Análise Estratigráfica de um Paleocanal Holocênico na Barreira Regressiva Sul-Catarinense. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013, Natal-RN. *Resumos de Trabalhos*, v. CD.
- Biancini da Silva, A., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Dillenburg, S. R., 2014. Meandering Fluvial System Influencing the Evolution of a Holocene Regressive Barrier in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 70, 205-210.
- Bitencourt, V. J. B., Dillenburg, S. R., Caron, F. & Barboza, E. G., 2013. Caracterização Morfológica e Estratigráfica das Cristas de Praia da Lagoa dos Quadros, Rio Grande do Sul, Brasil - Resultados Preliminares. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal-RN. *Resumos de Trabalhos*, 2013. v. CD.
- Bitencourt, V. J. B., Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., Caron, F., Manzolli, R. P. & Biancini da Silva, A., 2014. Morfologia e Estratigrafia de uma Planície de Cristas de Praia Lacustres no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIX Congresso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. *Actas*, v. CD - S12-5.
- Caron, F., 2014. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na Região Costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado. 167p. <<http://hdl.handle.net/10183/88625>>.
- Caron, F., Lima, L. G., Dillenburg, S. R., Tomazelli, L. J., Barboza, E. G., Antiquiera, J. A. F., Rosa, M. L. C. C., Manzolli, R. P. & Silva, A.B., 2010. Morphology, stratigraphy and factors controlling evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. In: 2010 Meeting of the Americas. *Eos Trans. AGU, Meet. Am. Suppl.*, 91, OS21A-01.

- Caron, F., Tomazelli, L. J., Lima, L. G., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Dillenburg, S. R., 2011. Características Estratigráficas da Barreira Transgressiva Holocênica na Praia dos Concheiros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, 2011, Armação de Búzios - RJ. Anais, v. CD, 107-111.
- Caron, F., Barboza, E. G., Tomazelli, L. J., Rosa, M. L. C. C. & Dillenburg, S. R., 2014. Fases de Transgressão/Regressão na Barreira Costeira Holocênica na Região de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. Actas, v. CD - T1-10.
- Davis, J.L & Annan, A.P., 1989. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, 531-551.
- Dillenburg, S. R. & Barboza, E. G., 2014. The Dip and Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil. In: Martini, I. P. & Wanless H. R. (eds.). *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*, Geological Society, London, Special Publications 388, doi:10.1144/SP388.16.
- Fornari, M., Giannini, P. C. F. & Nascimento Junior, D. R., 2012. Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology*, 323-325, 56-68.
- Fracalossi, F. G., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Silva, A. B., 2010. O Registro em Subsuperfície da Barreira Pleistocênica entre Osório e Tramandaí - RS. *Gravel*, 8, 21-31.
- Jol, H. M. & Bristow, C. S., 2003. GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In: Bristow, C. S. & Jol, H. M. (eds.). *Ground Penetrating Radar in Sediments*. Geological Society, London Special Publications, 211, 09-27.
- Lima, L. G., Dillenburg, S. R., Medeanic, S., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Tomazelli, L. J., Dehnhardt, B. A. & Caron, F., 2013. Sea-level rise and sediment budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42, 27-38.
- Manzoli, R. P., Portz, L. C., Rosa, M. L. C. C., Barboza, E. G. & Tomazelli, L. J., 2010. A Utilização de GPR e Sensoriamento Remoto na Identificação e Determinação da Taxa de Acreção de Beach Ridges Lagunares na Margem Oeste da Laguna Lagoa dos Patos. In: Anais do IV Congresso de Oceanografia, v. CD.
- Oliveira, J. F. & Barboza, E. G., 2014. A Dinâmica Costeira no Litoral de Jaguaruna, Santa Catarina. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. Actas, v. CD - S12-17.
- Rockett, G. C., Barboza, E. G. & Rosa, M. L. C. C., 2013. Estimativa da Espessura Sedimentar e Relações Estratigráficas na Região da Planície de Deflação do Campo de Dunas de Itapeva/RS, através de dados de Georradar. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal-RN. Resumos de Trabalhos, v. CD.
- Rockett, G. C., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C. & Gruber, N. L.S., 2014. Caracterização Geológica e Geomorfológica do Campo de Dunas de Itapeva, RS, Brasil. In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - Argentina. Actas, v. CD - S12-36.
- Rosa, M. L. C. C., 2012. Geomorfologia, padrões de empilhamento e potencial de preservação do registro estratigráfico dos sistemas deposicionais costeiros no Quaternário do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. Tese de Doutorado. 246p. <<http://hdl.handle.net/10183/66367>>.
- Rosa, M. L. C. C., Tomazelli, L. J. & Barboza, E. G., 2012. Caracterização através de dados de georradar da barreira costeira entre o balneário de Nova Tramandaí e Jardim do Éden, litoral norte do Rio Grande do Sul. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia, Santos-SP. Anais= Proceedings. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. CD.
- Salgado, E. T., Tomasi Neto, D., Portz, L. C., Manzoli, R. P., Barboza, E. G. & Tomazelli, L. J., 2013. Identificação da Ocorrência de Washover no trecho Sul da Margem Oeste da Laguna dos Patos através de Imagens de GPR. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013, Natal-RN. Resumos de Trabalhos, v. CD.
- Sangree, J. B. & Widmier, J. M., 1979. Interpretation of depositional facies from seismic data. *Geophysics*, 44, 131-160.
- Tomazelli, L. J., Barboza, E. G., Dillenburg, S. R., Rosa, M. L. C. C., Caron, F. & Lima, L. G., 2008. Implantação, preenchimento e desenvolvimento de vales incisos na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Projeto PETROBRAS. Relatório Interno, 102p.
- Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 8, 45p.
- Watanabe, D. S. Z., Barboza, E. G., Rosa, M. L. C. C., Martins, E. M. & Ayup-Zouain, R. N., 2013. Caracterização Geométrica do Acoplamento das Barreiras Pleistocênicas no Litoral Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013, Natal-RN. Resumos de Trabalhos, v. CD.