

LEONARDO UIEDA

# MEMORIAL

2017

# Memorial

Leonardo Uieda

Apresentado para concurso público de títulos e provas para cargo de Professor Doutor junto ao Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

2017

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Software</b>	<b>4</b>
2.1	Formação . . . . .	4
2.2	Tesseroids . . . . .	6
2.3	Fatiando a Terra . . . . .	7
2.4	GMT/Python . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>11</b>
3.1	Formação . . . . .	11
3.2	Modelagem direta de campos gravitacionais com tesseroides . . . . .	12
3.3	Inversão 3D utilizando o método de plantação . . . . .	14
3.4	Inversão 3D em coordenadas esféricas . . . . .	17
3.5	Tutoriais sobre geofísica . . . . .	18
3.6	Camada Equivalente . . . . .	18
3.7	Estimação da direção de magnetização . . . . .	19
3.8	Deconvolução de Euler . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Ensino</b>	<b>21</b>
4.1	Cursos de curta duração . . . . .	21
4.2	Disciplinas de graduação . . . . .	22
4.3	Orientações, coorientações e treinamento . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Curriculum Vitae</b>	<b>24</b>
5.1	Formação acadêmica . . . . .	24
5.2	Atuação profissional . . . . .	24
5.3	Coordenação de Projetos . . . . .	24
5.4	Revisor de periódicos . . . . .	25
5.5	Artigos publicados . . . . .	25
5.6	Trabalhos completos publicados em anais de eventos . . . . .	26
5.7	Programas de computador . . . . .	27
5.8	Apresentações de trabalho . . . . .	27
5.9	Prêmios e títulos . . . . .	29
5.10	Participações em bancas . . . . .	29
5.11	Cursos de curta duração ministrados . . . . .	29
	<b>Referências</b>	<b>33</b>

# 1 Introdução

Tive meu primeiro contato com a ciência e o ensino superior observando o trabalho dos meus pais, ambos professores do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Botucatu, São Paulo. Até hoje associo as bancadas de microscópios e o cheiro de formol com o conceito de ciência, mesmo nunca tendo trabalho em um laboratório com essas características. A curiosidade, a dedicação e a ética dos meus pais formaram a base da minha posição a respeito da ciência e do que significa ser um educador.

Ingressei no curso de Bacharelado em Geofísica da Universidade de São Paulo (USP) em 2004. De agosto de 2008 a maio de 2009 realizei um intercâmbio internacional na York University, Canadá, onde busquei aprimorar meus conhecimentos de geodésia e de gravimetria. No final de 2009 concluí o Bacharelado defendendo o trabalho de conclusão de curso intitulado “Cálculo do tensor gradiente gravimétrico utilizando tesseroides” (disponível em <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.963547>) sob orientação da Profa. Dra. Naomi Ussami e em colaboração com a Profa. Dra. Carla Braitenberg da University of Trieste, Itália. Em 2010 iniciei o Mestrado em Geofísica no Observatório Nacional (ON) com bolsa da CAPES e sob orientação da Profa. Dra. Valéria C. F. Barbosa. A convite da Profa. Braitenberg, passei o mês de fevereiro de 2011 em Trieste dando continuidade ao projeto que havia começado durante a graduação (o software *Tesseroids*). Defendi minha dissertação de Mestrado intitulada “Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities” em outubro de 2011 (disponível em <http://www.leouieda.com/about/masters.html>). Em novembro de 2011 dei início ao Doutorado em Geofísica no ON, ainda sob orientação da Profa. Valéria e novamente com bolsa da CAPES. Em abril de 2016 defendi minha tese de Doutorado intitulada “Modelagem direta e inversão de campos gravitacionais em coordenadas esféricas” (disponível em <http://www.leouieda.com/about/phd.html>).

Em outubro de 2013 prestei e fui aprovado no concurso público para o cargo de Professor Assistente no Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Tomei posse na UERJ em fevereiro de 2014, cerca de 2 anos antes de concluir o Doutorado. Sou responsável pelo Laboratório de Geofísica de Exploração (LAGEX) e pelas disciplinas Geofísica 1 e 2 do curso de Bacharelado em Geologia e Matemática Especial 1 do curso de Bacharelado em Oceanografia. Em 2016 tive a imensa honra e felicidade de ser homenageado como Paraninfo da turma de formandos do curso de Geologia da UERJ.

Em outubro de 2016 fui selecionado para realizar um pós-doutorado na University

of Hawaii, E.U.A., sob supervisão do Prof. Dr. Paul Wessel. O projeto terá duração de 2 anos e é financiado pela National Science Foundation (NSF). Seu objetivo é o desenvolvimento de uma interface na linguagem de programação Python para o software Generic Mapping Tools (GMT), criado e desenvolvido pelo Prof. Wessel e colaboradores. Em fevereiro de 2017 recebi licença da UERJ para realizar o pós-doutorado e me mudei para Honolulu, Havaí, E.U.A., onde me encontro atualmente.

Sou autor de 10 artigos publicados nos periódicos científicos internacionais *Non-linear Processes in Geophysics*, *The Leading Edge*, *Journal of Applied Geophysics*, *Ore Geology Reviews*, *Geophysics* e *Geophysical Journal International*. Publiquei 7 resumos e 11 trabalhos completos em anais de eventos (2 nacionais e 16 internacionais). Fui o apresentador de 12 desses trabalhos nos eventos *EAGE Conference and Exhibition*, *SEG International Exposition and Annual Meeting*, *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, *International GOCE User Workshop*, *International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems*, *AGU Meeting of the Americas*, *EGU General Assembly* e *Python in Science Conference (Scipy)*. Atuo como revisor dos periódicos *Computers & Geosciences*, *Geophysics*, *Central European Journal of Geosciences (Open Geosciences)*, *Pure and Applied Geophysics*, *Journal of Applied Geophysics*, *Geophysical Prospecting* e *Geophysical Journal International*. Sou o criador e o principal desenvolvedor dos programas de código aberto (software livre) *Tesseractoids* (<http://tesseractoids.leouieda.com>), *Fatiando a Terra* (<http://www.fatiando.org>) e *GMT/Python* (<https://github.com/GenericMappingTools/gmt-python>).

Desde meu primeiro contato com a programação fui encantado e influenciado pelos ideais do movimento software livre (*free software movement*), principalmente pela transparência, colaboração e reutilização que acontece nessa comunidade. Esses ideais também foram adotados pela chamada “Ciência Aberta” e se transferiram naturalmente para minha carreira de pesquisa e de ensino. Disponibilizo na internet o material didático de minhas disciplinas, as apresentações que elaboro e o código fonte utilizado em minhas publicações como primeiro autor. Faço essa distribuição principalmente através das páginas *Github* (<https://github.com/leouieda> e <https://github.com/pinga-lab>) e *figshare* (<http://figshare.com/authors/Leonardo%20Uieda/97471>) e de minha página pessoal (<http://www.leouieda.com>). Como um esforço para aumentar a transparência do meu trabalho, tenho publicado em minha página textos sobre o andamento dos meus projetos.

Sem dúvida, os produtos de maior impacto resultantes de minha pesquisa são os programas *Tesseractoids* e *Fatiando a Terra*. As citações em artigos científicos que

ambos os programas receberam<sup>1</sup> demonstram que são utilizados internacionalmente. Um fator importante para seu sucesso foi seu desenvolvimento no formato de software livre desde sua concepção. Além disso, tenho me esforçado para recrutar novos desenvolvedores e colaboradores para os projetos. Atualmente, o *Fatiando a Terra* recebeu contribuições de 13 pessoas de 6 países diferentes<sup>2</sup>, 7 das quais eu ainda não conheci em pessoa. Utilizo o *Fatiando* como parte integral de minha pesquisa e das disciplinas e cursos que ministro. Atualmente, esse programa é utilizado como a base da maioria dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Problemas Inversos em Geofísica (<http://www.pinga-lab.org>), do qual faço parte.

A seguir, apresento uma análise reflexiva sobre os principais temas de minha vida acadêmica: meus projetos de software livre, minha pesquisa em problemas inversos e minhas atividades de ensino.

---

<sup>1</sup>Segundo a base Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/citations?user=qfmPrUEAAAAJ&hl=en>).

<sup>2</sup><http://www.fatiando.org/dev/contributors.html>

## 2 Software

Cada vez mais, a pesquisa de ponta está envolvida com o desenvolvimento de algum tipo de software. Isso é verdade para diversos ramos da ciência, da biologia à geofísica e até mesmo nas ciências sociais. Aplicações variam desde baixar da internet para um computador pessoal os dados de fontes governamentais até realizar tomografia sísmica de ponta em um *cluster*. Na ciência moderna, muitas vezes o software assume o papel da metodologia experimental. Logo é de se esperar que os programas e seus códigos fonte sejam submetidos ao mesmo rigor que impomos ao resto da ciência experimental. Infelizmente essa não é a realidade ainda. Nos próximos 10 anos, questões envolvendo a avaliação da qualidade e da confiabilidade de resultados computacionais serão centrais no cenário científico internacional. No entanto, o sistema de educação superior atual fornece pouco treinamento nas habilidades necessárias para lidar com essa nova realidade. Algumas iniciativas, como o *Software Carpentry* (<https://software-carpentry.org/>), estão atacando diretamente esses problemas oferecendo treinamento computacional direcionado a cientistas.

Minha pesquisa sempre teve um viés computacional. Ao longo dos últimos dez anos, dei início a três projetos de software livre. A seguir, discorro sobre minha formação em desenvolvimento de software e sobre a concepção e os impactos de cada projeto.

### 2.1 Formação

Meu primeiro contato com a programação foi através da disciplina “Introdução à Computação para Ciências Exatas e Tecnologia” que cursei em 2004 durante meu primeiro semestre na USP. Antes disso, eu não tinha conhecimento algum de como programas de computador são feitos ou que qualquer um poderia criar o seu próprio programa. Aprendi os conceitos básicos da linguagem de programação C. Porém, não alcancei um nível suficientemente avançado para enxergar aplicações imediatas da programação nas demais disciplinas do curso de geofísica.

Busquei aprender mais sobre a linguagem C através da disciplina optativa “Computação para Geofísicos”. Durante a disciplina, desenvolvi aplicações diretas da programação à geofísica como o cálculo do International Geomagnetic Reference Field (IGRF) a partir dos coeficientes de harmônicos esféricos e o método de Talwani et al. (1959) para modelagem direta na gravimetria. O código que criei para a disciplina foi utilizado anos depois como base para a implementação do método de Talwani

et al. (1959) no programa *Fatiando a Terra*<sup>3</sup>. Essas aplicações me mostraram o enorme poder da programação no aprendizado de conceitos complexos da geofísica e da matemática. Ao criar uma implementação computacional de um método, o aluno é levado a considerar detalhes e a elaborar perguntas que passariam despercebidas ao estudar somente pela teoria. Além disso, também é capaz de explorar as possibilidades e os limites de uma teoria de forma dinâmica e independente. Não exagero quando afirmo que ter cursado a disciplina “Computação para Geofísicos” foi crucial para o resto de minha carreira.

Nos anos seguintes comecei a estudar a programação nas horas vagas e a aplicar à geofísica o que estava aprendendo. Implementei a Transformada Discreta de Fourier<sup>4</sup> para estudar para a disciplina “Processamento de Sinais Digitais”. Utilizei minha implementação do método de otimização Ant Colony Optimization (Socha & Dorigo, 2008) para realizar uma inversão das velocidades de grupo de ondas Love<sup>5</sup> para a disciplina “Teoria de Ondas Sísmicas e Estrutura da Terra”. Para as disciplinas de geodésia que cursei durante meu intercâmbio na York University, implementei ajustes de redes gravimétricas, mudança de sistemas de coordenadas geográficas, entre outros. Aprendi as linguagens de programação C++, Java e Python. Cursei a disciplina optativa “Princípios de Desenvolvimento de Algoritmos” onde aprendi os conceitos que possibilitaram alguns dos avanços que obtive em Uieda et al. (2016).

Em 2008 descobri a organização sem fins lucrativos *Software Carpentry*. Segundo <https://software-carpentry.org> (acessado em 7 de julho de 2017), seu objetivo é “Ensinar habilidades laboratoriais básicas para pesquisa computacional”. Através de seu material, disponível gratuitamente na internet, descobri o quanto eu não sabia sobre o desenvolvimento sustentável de software para pesquisa científica. Aprendi sobre ferramentas fundamentais da computação que até então eu desconhecia, como sistemas de controle de versão, testes unitários e rastreamento da procedência de resultados. Atualmente utilizo essas ferramentas no meu dia-a-dia como pesquisador e professor, seja para escrever artigos<sup>6</sup> ou para manejar a entrega de trabalhos práticos em minha disciplina de computação e cálculo numérico<sup>7</sup>.

Durante a pós-graduação, continuei com a abordagem de criar uma implementação computacional do que aprendia nas disciplinas. No entanto, optei por agrupar todo código fonte que desenvolvi em uma única biblioteca feita na linguagem Python: o projeto *Fatiando a Terra*. Para a disciplina de ondas sísmicas, por exemplo, im-

---

<sup>3</sup>[www.fatiando.org/v0.5/api/gravmag.talwani.html](http://www.fatiando.org/v0.5/api/gravmag.talwani.html)

<sup>4</sup>Disponível em <https://github.com/leouieda/dft-in-c>

<sup>5</sup>Disponível em <https://github.com/leouieda/love-aco-inv>

<sup>6</sup><https://github.com/pinga-lab/paper-moho-inversion-tesseractoids>

<sup>7</sup><https://github.com/mat-esp-2016>



plementei uma solução por diferenças finitas da equação da onda<sup>8</sup> para investigar se ondas Love realmente resultam de ondas S horizontais<sup>9</sup> e se ondas Rayleigh possuem movimento elíptico retrógrado<sup>10</sup>. Concomitantemente, continuei aprimorando minhas habilidades com o desenvolvimento de software através da experiência pessoal com o *Fatiando a Terra*.

## 2.2 Tesseroids

Em 2007 iniciei um estágio de iniciação científica com a Profa. Dra. Naomi Ussami. Meu projeto era parte de uma colaboração com a Profa. Dra. Carla Braitenberg da University of Trieste, Itália. O objetivo dessa colaboração era preparar a comunidade científica para lidar com os dados de gradiometria gravimétrica que seriam coletados pelo satélite GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). Minha participação nesse projeto seria desenvolver um programa para a modelagem direta dos dados utilizando tesseroides (prismas esféricos). Ficou determinado que o método que eu utilizaria para isso seria a Quadratura Gauss-Legendre, como proposto por Asgharzadeh et al. (2007) e Wild-Pfeiffer (2008). Decidi realizar minha implementação dessa metodologia na linguagem Python, a qual estava aprendendo na época. No final de 2009 defendi meu trabalho de conclusão de curso e lancei a versão 0.3 do software batizado de *Tesseroids*<sup>11</sup>.

O programa começou a ser utilizado pelo grupo de pesquisa da Profa. Braitenberg. Durante os testes iniciais, descobriram que o tempo de execução do programa era muito elevado para calcular os efeitos de modelos digitais de terreno realistas. Atribuo essa deficiência à minha inexperiência com a linguagem Python, não a uma limitação da mesma. A convite da Profa. Braitenberg, fui passar um mês em Trieste, Itália, para reimplementar o software em linguagem C e torná-lo mais rápido e preciso. Durante o mês de fevereiro, reescrevi todo o software em C e adicionei sistemas automáticos de testes unitários e geração de documentação online. Também implementei um método para a discretização adaptativa dos modelos, melhorando a estabilidade dos cálculos. No final de abril, lancei a versão 1.0 do *Tesseroids*. Essa versão passou a ser utilizada pelo grupo de Trieste e também por outros grupos de pesquisa da Europa e da América do Sul. Os seguintes trabalhos, por exemplo, mencionam uso dessa versão do software: Álvarez et al. (2012), Mariani et al. (2013) e Bouman et al. (2013).

---

<sup>8</sup>[www.fatiando.org/v0.5/api/seismic.wavefd.html](http://www.fatiando.org/v0.5/api/seismic.wavefd.html)

<sup>9</sup><https://youtu.be/YjhSvEpbzps>

<sup>10</sup><https://youtu.be/Mvd8FANLqy4>

<sup>11</sup>Código fonte da versão 0.3 disponível em <https://doi.org/10.5281/zenodo.15804>

Continuei o desenvolvimento do software e da metodologia de discretização adaptativa durante meu doutorado. Finalmente, lancei a versão 1.2 em 2015 com alguns avanços metodológicos. Esta versão acompanha a publicação Uieda et al. (2016) na seção *Software and Algorithms* da revista *Geophysics*. Até o momento, meus trabalhos relacionados ao software *Tesseroids* receberam juntos cerca de 50 citações<sup>12</sup>.

Ao olhar todo o histórico do desenvolvimento desse projeto<sup>13</sup>, percebo o quanto aprendi em cada etapa. Sinto orgulho e felicidade ao perceber que algo que eu criei foi útil para tantas outras pessoas. Esse sentimento é o que me motivou a continuar desenvolvendo essas ferramentas e as disponibilizando de maneira livre e gratuita.

## 2.3 Fatiando a Terra

O *Fatiando a Terra* é uma biblioteca (coleção de funções e classes) feita na linguagem Python. Sua funcionalidade abrange diversas áreas da geofísica, com foco em métodos potenciais. Comecei seu desenvolvimento durante meu mestrado no Observatório Nacional. No início, inclui as funções que implementei durante as disciplinas nessa biblioteca como uma forma de estudo. Eventualmente, esse código se tornou a base para minha implementação do método de inversão que desenvolvi como projeto de mestrado (Uieda & Barbosa, 2012, cujo código está disponível em <https://github.com/pinga-lab/paper-planting-densities>). Em 2012, fui convidado para ministrar um minicurso de inversão na escola de verão do IAG/USP junto com meu amigo Vanderlei C. Oliveira Jr. (na época também aluno da Profa. Valéria). Desenvolvemos diversos exercícios práticos para o curso utilizando o *Fatiando a Terra*. Como consequência disso, a biblioteca cresceu com a adição de diversas funções novas. Também criei a primeira versão da página de documentação <http://www.fatiando.org> e lancei a versão 0.0.1 do programa. Os exercícios e apresentações criados para esse curso estão disponíveis em <https://github.com/pinga-lab/inversao-iag-2012>.

Trabalhei no desenvolvimento do *Fatiando* continuamente durante todo meu doutorado. Em 2013, apresentei sobre o projeto no congresso Scientific Computing with Python (Scipy) em Austin, E.U.A., resultando no lançamento da versão 0.1 e na publicação nos anais do congresso:

UIEDA, L.; OLIVEIRA JR., V. C.; BARBOSA, V. C. F. Modeling the Earth with Fatiando a Terra. In: 12th Python in Science Conference,

---

<sup>12</sup>Segundo a base Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=qfmPrUEAAAAJ&hl=en>

<sup>13</sup>Disponível em <https://github.com/leouieda/tesseroids/commits>

2013, Austin. Proceedings of the 12th Python in Science Conference, 2013.

O código fonte utilizado nessa publicação está disponível na página <http://www.leouieda.com/talks/scipy2013.html>. Além disso, há uma gravação dessa palestra no YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=Ec38h1oB8cc>). Até esse momento, quase todo o desenvolvimento era feito por mim com algumas colaborações esporádicas de amigos da minha turma de graduação.

Apresentei novamente sobre o *Fatiando* na edição de 2014 do congresso Scipy (<http://www.leouieda.com/posters/scipy2014.html>), dessa vez sobre os algoritmos de inversão recentemente implementados na biblioteca. Após esse evento, concentrei meus esforços em melhorar a documentação e disponibilidade do *Fatiando* com o objetivo de atrair contribuidores para o projeto. Percebi que para o projeto crescer, seria necessário envolver outros programadores. Com minha entrada na UERJ, essa necessidade se tornou mais evidente. A carga horária de aulas combinada com o trabalho da tese de doutorado me deixava pouquíssimo tempo para a programação. Mesmo assim, o *Fatiando* foi tema de uma entrevista no Boletim da Sociedade Brasileira de Geofísica número 89<sup>14</sup>.

Meus esforços de documentar o processo para a submissão de contribuições e de facilitar a instalação do programa começaram a dar fruto em 2015. O projeto recebeu contribuições de duas pessoas com as quais eu não tinha contato prévio<sup>15</sup>. Também surgiram os primeiros trabalhos publicados de fora do meu grupo de pesquisa que mencionam a utilização do *Fatiando*: Niccoli (2015), Matthews et al. (2016) e Bassett et al. (2016). Dentre esses, destaco Matthews et al. (2016) que utilizou a modelagem direta de dados de gradiometria gravimétrica com prismas retangulares retos. Os autores compararam a implementação do *Fatiando* com a do software comercial *ModelVision* da empresa pbEncom, concluindo que a versão do *Fatiando* proporcionou resultados compatíveis ou até mesmo com maior acurácia que a do software comercial. Atualmente, a próxima versão do *Fatiando* (0.6) contará com contribuições de 13 pessoas, 5 das quais eu não conheço pessoalmente<sup>16</sup>.

Em 2015, fui convidado para ministrar a palestra “Fatiando a Terra: construindo uma base para ensino e pesquisa de geofísica”<sup>17</sup> nos seminários do Departamento de Geofísica do IAG/USP. Em 2016, apresentei a mesma palestra nos seminários do Departamento de Geofísica do Observatório Nacional. Em 2017, fui convidado a dar a palestra “Inverting gravity to map the Moho: A new method and the open source

---

<sup>14</sup>[https://www.sbgf.org.br/home/images/stories/Arquivos/Boletim\\_89-2014.pdf](https://www.sbgf.org.br/home/images/stories/Arquivos/Boletim_89-2014.pdf)

<sup>15</sup><http://www.fatiando.org/v0.4/contributors.html>

<sup>16</sup><http://www.fatiando.org/dev/contributors.html>

<sup>17</sup><http://www.leouieda.com/talks/iag-04-2015.html>

software that made it possible”<sup>18</sup> na University of Hawaii. A palestra abordou o *Fatiando a Terra* e a metodologia e os resultados de Uieda & Barbosa (2017).

A maioria dos artigos e teses recentes do Grupo de Pesquisa em Problemas Inversos em Geofísica (PINGA), liderado por mim e os Professores do Observatório Nacional Vanderlei C. Oliveira Jr e Valéria C. F. Barbosa, utiliza o *Fatiando a Terra* de alguma forma. Diversos desses trabalhos disponibilizam seu código fonte livremente através dos repositórios na página do grupo <https://github.com/pinga-lab>. Por exemplo, Oliveira Jr. et al. (2015)<sup>19</sup>, Reis et al. (2016)<sup>20</sup>, Uieda & Barbosa (2017)<sup>21</sup> e Hidalgo-Gato & Barbosa (2017)<sup>22</sup>.

Ao longo dos 7 anos que passei desenvolvendo o *Fatiando*, aprimorei minhas habilidades de programação em Python e aprendi diversas lições sobre a administração de um projeto de software livre. Os maiores desafios não estão relacionados à programação diretamente, mas sim à criação de uma comunidade ativa e empolgada em torno do projeto.

## 2.4 GMT/Python

Após terminar meu doutorado em abril de 2016, comecei a procurar oportunidades para fazer um pós-doutorado no exterior. Havia passado os últimos dois anos me familiarizando com a vida de professor universitário, ministrando de duas a quatro disciplinas por semestre e trabalhando na minha tese de doutorado durante os recesos. Estava exausto e ponderando o futuro e o rumo da minha carreira em pesquisa. Logo, percebi que estava na hora de buscar outra experiência internacional. Alguns meses depois, recebi um comunicado através de uma lista de emails que o Prof. Paul Wessel da University of Hawaii, E.U.A., estava procurando candidatos com experiência em programação em Python para um pós-doutorado. A responsabilidade do candidato selecionado seria construir uma interface para acessar os comandos do Generic Mapping Tools (GMT, <http://gmt.soest.hawaii.edu>) através da linguagem Python. Além disso, também utilizaria essa interface para realizar pesquisas na área de tectônica de placas e métodos potenciais. Depois de conversar a respeito com minha esposa, resolvi aplicar para a posição e fui selecionado<sup>23</sup>. Confesso que a perspectiva de morar por dois anos no Havaí contribuiu de forma não insignificante para minha decisão. Em fevereiro de 2017 me mudei para Honolulu para iniciar o

---

<sup>18</sup><http://www.leouieda.com/talks/tgif-2017.html>

<sup>19</sup><https://github.com/pinga-lab/Total-magnetization-of-spherical-bodies>

<sup>20</sup><https://github.com/pinga-lab/magnetization-rock-sample>

<sup>21</sup><https://github.com/pinga-lab/paper-moho-inversion-tesseroids>

<sup>22</sup><https://github.com/pinga-lab/paper-monogenic-signal>

<sup>23</sup>Escrevi a respeito de minhas escolhas e o processo de seleção em <http://www.leouieda.com/blog/hawaii-gmt-postdoc.html>

pós-doutorado.

O projeto *GMT/Python* é uma biblioteca escrita em Python que se comunica com o GMT através de um mecanismo chamado *foreign function interface* (FFI). Esse mecanismo possibilita que funções escritas em uma linguagem de programação sejam utilizadas em programas feitos em outra linguagem. Por exemplo, programas feitos em Python podem utilizar a FFI para executar funções de uma biblioteca escrita em C, a linguagem na qual é feito o GMT. Uma vantagem do Python é que seu interpretador oficial é implementado em C, facilitando a interação entre as duas linguagens. A maior dificuldade que encontrei até o presente momento é a enorme complexidade do GMT. Existem dezenas de módulos, cada um com diversas opções e particularidades, implementados em milhares de linhas de código.

O primeiro passo desse projeto foi auxiliar o Prof. Wessel no desenvolvimento de um modo de execução moderna (chamado *modern mode*) para o GMT<sup>24</sup>. Esse modo simplifica a utilização do GMT e introduz comandos novos para facilitar a criação de figuras complexas com múltiplos gráficos. A interação com o Prof. Wessel se mostrou indispensável para a elaboração do *GMT/Python*. Essa está sendo uma oportunidade única de aprender com alguém que possui décadas de experiência com software livre. Outro benefício é a proximidade com a fronteira da pesquisa em tectônica de placas, que é a especialidade do Prof. Wessel.

Atualmente, o *GMT/Python* está em processo de desenvolvimento. Já desenvolvi a base necessária para acessar a biblioteca do GMT e estou no processo de adaptar cada um dos mais de 90 módulos. Apresentarei sobre os resultados que obtivemos até o momento no congresso Scientific Computing with Python (Scipy)<sup>25</sup> em julho de 2017 em Austin, E.U.A. Optamos por manter o código fonte e nossos planos para o projeto aberto ao público. Todo o desenvolvimento e planejamento acontece através da página <https://github.com/GenericMappingTools/gmt-python>.

Este projeto é extremamente promissor devido à enorme base de usuários do GMT e a crescente popularidade do Python na ciência. Além disso, atualmente existem poucas alternativas para geração de mapas de qualidade em Python. Por exemplo, usuários do software GPlates (Cannon et al., 2014) poderão se beneficiar do *GMT/Python* pois o mesmo possui uma interface com a linguagem Python e faz amplo uso do GMT.

---

<sup>24</sup>Documentação na página do GMT <http://gmt.soest.hawaii.edu/projects/gmt/wiki/Modernization>

<sup>25</sup>Escrevi sobre o trabalho que submetemos e as revisões que recebemos em <http://www.leouieda.com/blog/scipy2017-proposal-gmt.html>

### 3 Pesquisa

Minha pesquisa se concentra na área de problemas inversos em métodos potenciais. Geralmente, meus trabalhos são avanços metodológicos e são acompanhados por um código fonte que os implementa. Como mencionei no capítulo 2, acredito que o código fonte que acompanha uma publicação é tão importante quanto a descrição de sua metodologia. Muitas vezes é impossível reproduzir os resultados de um trabalho sem ter acesso ao software que os gerou. Logo, é crucial que o código esteja disponível para ser revisado pela comunidade científica. Para tanto, disponibilizo o código e os dados (à medida do possível) necessários para reproduzir os resultados de meus trabalhos como primeiro autor. Cada trabalho é acompanhado de um repositório na página do Grupo de Pesquisa em Problemas Inversos em Geofísica (<https://github.com/pinga-lab>). Os repositórios contém o código fonte que implementa a metodologia, realiza os testes com dados sintéticos e produz as figuras para o artigo. Ultimamente, torno público um repositório no momento da submissão do respectivo artigo para publicação. Dessa forma, os revisores tem acesso ao conteúdo total de meus trabalhos e podem se certificarem de que meus resultados estão corretos. Cada repositório também é arquivado permanentemente e recebe um Digital Object Identifier (DOI) através de serviços como Zenodo (<http://zenodo.org>) e figshare (<https://figshare.com>).

A seguir, apresento reflexões sobre os aspectos de minha formação que me levaram a essa área de pesquisa e sobre os diferentes trabalhos que formam minha produção acadêmica.

#### 3.1 Formação

Desde o início da graduação me senti intrigado pelos métodos de inversão. Sempre ouvia de alunos veteranos, ou até mesmo de professores, que esse era um assunto extremamente complexo. Conhecendo minha personalidade, creio que meu interesse inicial sobre o assunto era puramente devido ao desafio. Por sorte, a disciplina que forma a base do conhecimento de problemas inversos, a álgebra linear, também foi um tema que despertou meu interesse. Por outro lado, devo confessar que, a princípio, os métodos potenciais não me interessaram tanto quanto a inversão. Minha primeira impressão da gravimetria e da magnetometria foi que eram métodos simples. Porém, terminei minha primeira disciplina sobre o assunto completamente confuso e com mais dúvidas do que tinha antes de cursá-la. Hoje percebo que essas são características de um assunto complexo e interessante e de uma aula de qualidade.

Fiz minha primeira iniciação científica no laboratório de paleomagnetismo com bolsa da FAPESP e orientação do Prof. Manoel S. D'Agrella Filho. Ao final do período de um ano da bolsa, decidi não continuar nessa área. Em seguida, busquei outro projeto que unisse a geofísica com meu interesse pela programação. Em 2007, iniciei o projeto sob orientação da Profa. Naomi Ussami que resultou no software *Tesseroids*.

Em 2008, realizei um programa de intercâmbio de 10 meses na York University, Canadá. Parte do motivo para essa escolha é a excelência do país nas áreas de gravimetria e geodésia. Lá, cursei disciplinas sobre geodésia física, gravimetria e ajuste de redes através do método dos mínimos quadrados.

Em 2010, ingressei no Mestrado em Geofísica do Observatório Nacional sob orientação da Profa. Valéria C. F. Barbosa. Meu projeto era criar um método de inversão 3D de dados de gradiometria gravimétrica, tema que contava com atenção internacional e era pioneiro no cenário nacional. Nesse ponto, percebi que as disciplinas cursadas na York me forneceram a base necessária para compreender a inversão e a gravimetria com muito mais facilidade. Ainda sob orientação da Profa. Valéria, ingressei no Doutorado em Geofísica do Observatório Nacional em novembro de 2011 e defendi minha tese em abril de 2016. Aprendi com a Profa. Valéria as diferentes vertentes e sutilezas da inversão, a arte da elaboração de artigo científico e sua ética profissional impecável. Também devo muito do meu aprendizado durante a pós-graduação às longas conversas e debates com meu amigo Vanderlei C. Oliveira Jr. (atualmente pesquisador do Observatório Nacional).

### 3.2 Modelagem direta de campos gravitacionais com tesseroides

Comecei a desenvolver esse tema durante minha iniciação científica com a Profa. Naomi de 2007 a 2009. A princípio, meu trabalho era simplesmente aprender a metodologia de Wild-Pfeiffer (2008) e transformá-la em um programa de computador. Este foi o primeiro trabalho que apresentei em evento internacional:

UIEDA, L.; USSAMI, N.; BRAITENBERG, C. Computation of the gravity gradient tensor due to topographic masses using tesseroids. In: AGU Meeting of the Americas, 2010.<sup>26</sup>

Retomei o projeto em 2011 durante minha estadia em Trieste com a Profa. Braitenberg para atualizar o software e a metodologia para o cálculo dos campos

<sup>26</sup>Apresentação disponível em <http://www.leouieda.com/talks/agu2010.html>

gravitacionais de um tesseróide (prisma esférico). Utilizei as equações otimizadas de Grombein et al. (2013) para eliminar as singularidades presentes na formulação de Wild-Pfeiffer (2008). Também desenvolvi um método de discretização adaptativa dos tesseróides para garantir a acurácia da integração numérica com a Quadratura Gauss-Legendre. Sem meu conhecimento, um algoritmo similar (Li et al., 2011) havia sido publicado no mesmo período em que estava em Trieste, inviabilizando a nossa publicação do método. Ainda em Trieste, busquei caracterizar o erro numérico envolvido nos cálculos para melhor controlar a discretização adaptativa. Publiquei as atualizações do software *Tesseroids* e os resultados da análise do erro da quadratura nos anais do 4th International GOCE User Workshop:

UIEDA, L.; BOMFIM, E. P.; BRAITENBERG, C.; MOLINA, E. C. Optimal forward calculation method of the Marussi tensor due to a geologic structure at GOCE height. In: 4th International GOCE User Workshop, 2011.<sup>27</sup>

Para minha tese de doutorado iria utilizar a modelagem direta com tesseróides para desenvolver um método de inversão em coordenadas esféricas. Porém, para que a inversão seja correta é necessário que a modelagem direta seja a mais precisa possível. Logo, continuei com o desenvolvimento do algoritmo de discretização adaptativa e com os experimentos para caracterizar o erro da quadratura. Após diversas tentativas frustradas, cheguei aos resultados apresentados no artigo que fez parte da minha tese de doutorado:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F.; BRAITENBERG, C. Tesseroids: Forward-modeling gravitational fields in spherical coordinates. *Geophysics*, v. 81, p. F41-F48, 2016.<sup>28</sup>

Neste trabalho, aprimoramos o algoritmo de discretização adaptativa proposto por Li et al. (2011). Também determinamos empiricamente valores para o parâmetro *distance-size ratio*, que controla a discretização adaptativa, para manter o erro de integração abaixo de 0.1%.

Os trabalhos relacionados à modelagem direta com tesseróides estão entre os meus trabalhos mais citados<sup>29</sup>. Acredito que isso seja devido, em parte, à disponibilização do software *Tesseroids* que implementa essa metodologia. Outro fruto dessa pesquisa é minha coorientação da tese de doutorado do aluno Santiago Soler com o

<sup>27</sup>Pôster e texto disponíveis em <http://www.leouieda.com/posters/goce2011.html>

<sup>28</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/paper-tesseroids>

<sup>29</sup>Segundo a base Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=qfmPrUEAAAAJ&hl=en>



Prof. Dr. Mario Ernesto Gimenez da Universidad Nacional de San Juan, Argentina. A tese de Santiago dará continuidade à modelagem direta com tesseroides, expandindo a formulação para incluir tesseroides com distribuições internas de densidades variáveis.

### 3.3 Inversão 3D utilizando o método de plantação

Meu projeto de mestrado era desenvolver um método de inversão 3D para dados de gradiometria gravimétrica. Um dos desafios enfrentados nessa área é o aumento significativo do número de dados em uma aquisição gradiométrica comparados com uma aquisição aerogravimétrica. Esse aumento tornava a inversão impossível de ser executada nos computadores que tínhamos disponíveis no Observatório Nacional.

Minha ideia inicial para o método de inversão surgiu durante uma conversa com o Prof. Dr. João B. C. Silva da Universidade Federal do Pará. No momento, ele se encontrava no Rio de Janeiro para participar de uma banca de mestrado. Durante a conversa, o Prof. João mencionou o trabalho de René (1986) como um exemplo de uma metodologia diferente e pouco reconhecida pela comunidade científica. René (1986) propôs um método de inversão 2D de dados gravimétricos na qual a solução cresce em torno de alguns elementos nucleares chamados de “sementes”. O que despertou meu interesse nesse trabalho foi o viés computacional do método proposto, ao invés da abordagem matemática clássica. Ao estudá-lo, percebi que poderia ser adaptado e aprimorado para o caso 3D e para dados de gradiometria gravimétrica. Minhas modificações incluem a introdução da função de regularização de compacidade de Silva Dias et al. (2009), um termo de normalização para as funções do ajuste e a avaliação parcial da matriz de sensibilidade. Esta última modificação é a que possibilita a inversão de conjuntos grandes de dados com poucos recursos computacionais.

Apresentei este novo método, denominado “método de plantação”, nos congressos internacionais 73rd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EURO-PEC, SEG International Exposition and Eighty-First Annual Meeting, 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, e International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems. Fui premiado com o auxílio financeiro da Near Surface Geophysics Section (NSGS) da SEG para participar do SEG Annual Meeting. Também obtive o auxílio PACE Student Travel Grant para participar do 73rd EAGE Conference and Exhibition.

Publiquei trabalhos completos nos anais de 3 desses eventos:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. 3D gravity Gradient Inversion by Plan-

ting Density Anomalies. In: 73rd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC, 2011, Vienna. v. 1.<sup>30</sup>

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities. In: SEG International Exposition and Eighty-First Annual Meeting, 2011, San Antonio. p. 820-824.<sup>31</sup>

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. 3D gravity inversion by planting anomalous densities. In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Brazil, 2011.<sup>32</sup>

Subsequentemente, publiquei meu primeiro artigo em periódico:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities. *Geophysics*, v. 77, p. G55-G66, 2012.<sup>33</sup>

O próximo passo no desenvolvimento desse método veio quando, ao ler novamente o trabalho original de René (1986), percebi as enormes vantagens da utilização da função “shape-of-anomaly”. Essa função é definida e utilizada no trabalho de 1986. Porém, acredito que René não explorou todas suas implicações para a inversão. Ao utilizá-la em meu método de plantação, percebi que era capaz de obter resultados melhores utilizando menos elementos nucleares (as “sementes” da inversão). Apresentei estes resultados e uma análise do motivo de seu sucesso no congresso SEG International Exposition and Eighty-Second Annual Meeting, acompanhado da publicação nos anais do evento:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Use of the shape-of-anomaly data misfit in 3D inversion by planting anomalous densities. In: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2012.<sup>34</sup>

Durante meu doutorado, adaptei este método para a inversão de dados de anomalia magnética de campo total com resultados insatisfatórios. Os resultados da inversão se mostraram extremamente sensíveis à direção de magnetização total assumida para o alvo. Não dei continuidade com esse trabalho pois o foco de minha tese havia mudado para a inversões em escala regional. Apresentei meus resultados no evento AGU Meeting of the Americas de 2013:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. 3D magnetic inversion by planting anomalous densities. In: AGU Meeting of the Americas, 2013, Cancun.<sup>35</sup>

<sup>30</sup>Pôster e código fonte: <http://www.leouieda.com/posters/eage2011.html>

<sup>31</sup>Apresentação e código fonte: <http://www.leouieda.com/talks/seg2011.html>

<sup>32</sup>Apresentação e código fonte: <http://www.leouieda.com/talks/sbgf2011.html>

<sup>33</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/paper-planting-densities>

<sup>34</sup>Apresentação e código fonte: <http://www.leouieda.com/talks/seg2012.html>

<sup>35</sup>Apresentação e código fonte: <http://www.leouieda.com/talks/agu-cancun2013.html>

Em seguida, adaptei o método de plantação para utilizar tesseroides ao invés de prismas retangulares retos. Dessa forma, poderia realizar a inversão em coordenadas esféricas e em escala regional. No entanto, o método de plantação assume que os alvos da inversão são corpos contínuos e com contraste de densidade abrupto em relação às estruturas encaixantes. Embora o método funcione em testes com dados sintéticos, tive dificuldade de encontrar situações reais onde o método se aplicaria. Apresentei esses resultados no EGU General Assembly de 2014:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Gravity inversion in spherical coordinates using tesseroids. In: EGU General Assembly 2014. EGU2014-10898-1.<sup>36</sup>

O método de plantação foi utilizado na tese de doutorado de Dionísio U. Carlos, que na época era aluno da Profa. Valéria, para modelar dados de gradiometria do Quadrilátero Ferrífero. Dessa colaboração com o Dionísio foram publicados 3 trabalhos completos em anais de eventos e 2 artigos em periódicos internacionais:

CARLOS, D. U.; BARBOSA, V. C. F.; UIEDA, L.; BRAGA, M. A. Inversão de dados de aerogradiometria gravimétrica 3D-FTG aplicada a exploração mineral na região do Quadrilátero Ferrífero. In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2011.

CARLOS, D. U.; UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F.; BRAGA, M. A.; GOMES, A. A. S. In-depth imaging of an iron orebody from Quadrilátero Ferrífero using 3D gravity gradient inversion. In: SEG International Exposition and Eighty-First Annual Meeting, 2011.

CARLOS, D. U.; UIEDA, L.; LI, Y.; BARBOSA, V. C. F.; BRAGA, M. A.; ANGELI, G.; PERES, G. Iron ore interpretation using gravity-gradient inversions in the Carajás, Brazil. In: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2012.

CARLOS, D. U.; UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Imaging iron ore from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil) using geophysical inversion and drill hole data. *Ore Geology Reviews*, v. 61, p. 268-285, 2014.

CARLOS, D. U.; UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. How two gravity-gradient inversion methods can be used to reveal different geologic features of ore deposit - A case study from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil). *Journal of Applied Geophysics*, v. 130, p. 153-168, 2016.

<sup>36</sup>Apresentação e código fonte: <http://www.leouieda.com/talks/egu2014.html>

O método de plantação (Uieda & Barbosa, 2012) é meu trabalho mais citado<sup>37</sup> e o que me rendeu o maior número de publicações. Este trabalho marcou minha iniciação à apresentação de trabalhos em congressos no exterior e à escrita e publicação de artigos científicos. Também serviu como uma primeira tentativa de tornar a minha pesquisa mais transparente, acessível e reproduzível.

### 3.4 Inversão 3D em coordenadas esféricas

Este foi um dos temas principais da minha tese de doutorado. Meu objetivo era desenvolver um método de inversão que utilizasse a modelagem direta com tesseroides. Assim, seria possível utilizar a grande cobertura de dados gravimétricos de satélites para modelar feições em escala continental levando em consideração a curvatura da Terra. A feição que buscamos mapear é a interface entre a crosta e o manto, marcada pela descontinuidade de Mohorovičić (Moho).

Novamente, minha inspiração para este método surgiu a partir do Prof. João B. C. Silva. Em Silva et al. (2014), ele e seus colaboradores aprimoraram o método de inversão não-linear de Bott (1960). Este método estima a profundidade do contato entre bacias sedimentares e o embasamento cristalino a partir de dados gravimétricos. A principal vantagem do método de Bott é ser computacionalmente eficiente. Silva et al. (2014) demonstraram que o método de Bott pode ser considerado como um caso particular do método de otimização Gauss-Newton. A aproximação consiste em utilizar uma matriz diagonal e linear no lugar da matriz de sensibilidade (ou Jacobiana). A principal desvantagem do método é sua sensibilidade à presença de ruídos aleatórios nos dados.

Baseado na formulação de Silva et al. (2014) para o método de Bott, desenvolvi um método para a inversão não-linear de dados gravimétricos para estimar o relevo da Moho na América do Sul. Utilizei a regularização de suavidade para estabilizar a inversão. Porém, fui capaz de reter a eficiência computacional do método de Bott utilizando matrizes esparsas na implementação computacional do método. Também desenvolvi uma técnica de validação utilizando observações sismológicas da profundidade da Moho para estimar o contraste de densidade e a profundidade da Moho de referência.

Publiquei este método de inversão e os resultados que obtivemos para a América do Sul no artigo:

UIEDA, L.; BARBOSA, V. C. F. Fast nonlinear gravity inversion in

---

<sup>37</sup>Segundo a base Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/citations?user=qfmPrUEAAAAJ&hl=en>

spherical coordinates with application to the South American Moho. *Geophysical Journal International*, v. 208, p. 162-176, 2017.<sup>38</sup>

O modelo que criei para a profundidade da Moho na América do Sul está disponível gratuitamente em <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.3987267> sob uma licença *Creative Commons*. Até o presente momento (10 de Julho de 2017), o modelo foi baixado 230 vezes.

### 3.5 Tutoriais sobre geofísica

Publiquei dois trabalhos em uma série de tutoriais sobre geofísica iniciada por Matt Hall da Agile Scientific (Hall, 2016) para a revista *The Leading Edge*:

UIEDA, L. Step-by-step NMO correction. *The Leading Edge*, v. 36, p. 179-180, 2017.<sup>39</sup>

UIEDA, L.; OLIVEIRA, V. C.; BARBOSA, V. C. F. Geophysical tutorial: Euler deconvolution of potential-field data. *The Leading Edge*, v. 33, p. 448-450, 2014.<sup>40</sup>

O objetivo da série de tutoriais é explicar conceitos da geofísica de forma prática e acessível. Um dos requisitos para a publicação é a inclusão de código fonte que possa ser utilizado pelo leitor para explorar os conceitos abordados no tutorial. O código é disponibilizado com uma licença de software livre e o texto do tutorial é publicado no formato “acesso livre” (*open access*) com uma licença da *Creative Commons*.

Os 9 artigos da revista *The Leading Edge* mais acessados nos últimos 12 meses são todos pertencentes à série de tutoriais<sup>41</sup>. O artigo “Step-by-step NMO correction” está no sexto lugar dessa lista.

### 3.6 Camada Equivalente

A técnica da camada equivalente é utilizada para o processamento de dados de métodos potenciais. Suas aplicações incluem a interpolação de dados, continuação para cima, redução ao polo, remoção de ruídos aleatórios e cálculo de derivadas. A

<sup>38</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/paper-moho-inversion-tesseroids>

<sup>39</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/nmo-tutorial>

<sup>40</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/paper-tle-euler-tutorial>

<sup>41</sup>Segundo <http://library.seg.org/action/showMostReadArticles?journalCode=leedff> (acessado em 10 de Julho de 2017).

camada equivalente é aplicada em dois passos: primeiro, estimamos os coeficientes de uma série de funções harmônicas que melhor ajustam os dados observados; segundo, utilizamos os coeficientes estimados para realizar a transformação desejada através da modelagem direta. É comum utilizar como funções harmônicas o efeito de uma malha regular de fontes pontuais. Dessa forma, os coeficientes estimados possuem significado físico. Por exemplo, no caso da gravimetria os coeficientes representam as densidades de massas pontuais. A camada equivalente é capaz de operar em dados distribuídos de forma irregular e é geralmente mais estável que métodos que utilizam a Transformada de Fourier. Porém, o primeiro passo para sua aplicação é uma inversão, o que a torna computacionalmente custosa.

Das muitas conversas que tive com o Vanderlei durante a pós-graduação, surgiu a ideia de parametrizar a camada equivalente utilizando polinômios bidimensionais no lugar de fontes pontuais. A camada seria dividida em janelas e a distribuição de propriedades físicas dentro de cada janela seria representada por um polinômio. Essa parametrização nos possibilitaria estimar os coeficientes desses polinômios ao invés de estimar os valores de propriedade física de cada fonte pontual. Esta mudança reduz drasticamente o número de parâmetros a serem estimados na inversão.

Essa ideia foi executada pelo Vanderlei e se tornou parte de sua tese de doutorado. Publicamos o método desenvolvido em um trabalho completo nos anais do V Simpósio Brasileiro de Geofísica em 2012 e na revista *Geophysics* em 2013:

OLIVEIRA JR., V. C.; BARBOSA, V. C. F.; UIEDA, L. Camada Equivalente Polinomial. In: V Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2012.

OLIVEIRA Jr., V. C.; BARBOSA, V. C. F.; UIEDA, L. Polynomial equivalent layer. *Geophysics*, 78(1), G1-G13, 2013.

### 3.7 Estimação da direção de magnetização

Frequentemente, a interpretação e inversão de dados de anomalia magnética de campo total requer o conhecimento da direção de magnetização da fonte. Técnicas como a redução ao polo e a inversão 3D não-linear não podem ser aplicadas sem se ter conhecimento da direção da magnetização total do corpo geológico. A dissertação de mestrado da aluna Daiana P. Sales, que foi orientada pelo Vanderlei, propõe uma forma de estimar a direção de magnetização de corpos aproximadamente esféricos a partir da anomalia de campo total. Acompanhei o trabalho da Daiana e do Vanderlei de perto e auxiliei com a elaboração de testes de sensibilidade e a implementação do método em linguagem Python como parte do *Fatiando a Terra*. Publicamos os resultados decorrentes da dissertação da Daiana no artigo:

OLIVEIRA JR., V. C.; SALES, D. P.; BARBOSA, V. C. F.; UIEDA, L. Estimation of the total magnetization direction of approximately spherical bodies. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 22, p. 215-232, 2015.<sup>42</sup>

### 3.8 Deconvolução de Euler

A Deconvolução de Euler (DE) (Thompson, 1982; Reid et al., 1990) é uma metodologia muito utilizada na interpretação de dados magnéticos. A DE estima a posição de fontes ideais (esferas, planos, linhas, etc) a partir da anomalia magnética e de suas derivadas nas direções x, y e z. A grande popularidade da DE se deve ao fato de ela ser relativamente simples de se programar e de possuir um baixo custo computacional. Um dos desafios encontrados durante sua utilização é a quantidade excessiva de soluções geradas pelo método. Muitas dessas soluções são erradas e devem ser descartadas.

Barbosa et al. (1999) demonstrou que as soluções produzidas para as coordenadas x, y e z da fonte formam patamares ao longo do valor correto de cada coordenada. O objetivo da dissertação de mestrado do aluno Felipe F. Melo, orientado pela Profa. Valéria, foi desenvolver um método que utilizasse esses patamares para eliminar as soluções esporádicas da Deconvolução de Euler. Participei desse trabalho durante a elaboração da metodologia e durante a escrita do artigo:

MELO, F. F.; BARBOSA, V. C. F.; UIEDA, L.; OLIVEIRA Jr, V. C.; SILVA, J. B. C. Estimating the nature and the horizontal and vertical positions of 3D magnetic sources using Euler deconvolution. *Geophysics*, v. 78, p. J87-J98, 2013.

---

<sup>42</sup>Código fonte disponível em <https://github.com/pinga-lab/Total-magnetization-of-spherical-bodies>

## 4 Ensino

Assim como muitos outros professores universitários, eu nunca recebi treinando formal em técnicas de ensino. Por isso, busquei ler o máximo que pude a respeito desse assunto para me familiarizar com o seu estado da arte. Uma tendência que observei com frequência é a mudança para um estilo de ensino envolvendo menos palestras e mais atividades práticas. Alguns educadores levam essa prática ao extremo, dedicando 100% do tempo em sala de aula a exercícios e atividades práticas. Outra tendência comum é o uso de técnicas de avaliação formativa, que são aplicadas de forma contínua durante o curso e têm função diagnóstica. Por exemplo, um professor pode utilizar questões de múltipla escolha para rapidamente avaliar quais são as falhas no entendimento dos alunos. Dessa forma, o professor é capaz de adaptar sua aula para sanar essas dúvidas. Busco sempre incorporar essas técnicas nas minhas aulas e aprimorar minhas habilidades didáticas. Utilizo a programação para criar um material didático interativo para as minhas aulas práticas, muitas vezes utilizando as funções existentes no *Fatiando a Terra*. Além disso, coeto a opinião dos alunos de forma anônima no final de cada curso. Essas avaliações me permitem determinar o que devo manter como parte do curso e o que pode ser feito para melhorá-lo. Assim como todo o resto da minha produção, disponibilizo o material didático que desenvolvo através da minha página pessoal <http://www.leouieda.com/teaching>.

### 4.1 Cursos de curta duração

Minha primeira experiência como instrutor foi quando ministrei o minicurso “Tópicos de inversão em geofísica” junto com o Prof. Dr. Vanderlei C. Oliveira Jr. na XVI Escola de Verão de Geofísica do IAG/USP<sup>43</sup>. Na época, éramos alunos de doutorado no Observatório Nacional. Optamos por utilizar uma abordagem prática para as aulas e utilizamos o *Fatiando a Terra* nos exercícios e exemplos. O curso foi bem recebido pelos alunos, muitos dos quais fizeram comentários positivos a respeito das atividades práticas. A apostila que escrevemos para esse curso está disponível livremente em <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1192984.v3>. Atualmente (10 de Julho de 2017), a apostila foi baixada mais de 400 vezes.

Depois dessa experiência eu tive certeza de que ensinar é algo que eu gostaria de fazer como minha carreira. Após assumir o cargo de Professor na UERJ, ministrei novamente o minicurso de inversão na Universidade de Brasília, dessa vez sozinho<sup>44</sup>. Reutilizei grande parte do material original que desenvolvemos, porém adaptado

---

<sup>43</sup><https://github.com/pinga-lab/inversao-iag-2012>

<sup>44</sup><https://github.com/pinga-lab/inversao-unb-2014>



para um curso de menor duração.

Em 2016, ministrei dois minicursos sobre programação em Python com ênfase em ciências da Terra. O primeiro foi “Python como uma ferramenta numérica em Ciências da Terra: Uma nova abordagem de programação”<sup>45</sup>, ministrado durante a XVIII Escola de Verão de Geofísica do IAG/USP em conjunto com os Profs. Drs. Marcelo Bianchi e Victor Sacek. Nesse curso, ensinei os conceitos básicos da utilização do *Fatiando a Terra*. O segundo foi “Python para Geologia”<sup>46</sup>, ministrado durante a VII Semana Acadêmica de Geologia da UERJ. Objetivo de ambos os cursos era fornecer o conhecimento mínimo necessário para que os alunos pudessem começar a estudar a linguagem Python por conta própria. Em 2017, ministrei o minicurso “Introduction to Python Workshop”<sup>47</sup> na University of Hawaii adaptando o material desenvolvido para o curso da UERJ. Escrevi a respeito desse curso, dos métodos de ensino utilizados e das avaliações que recebi dos alunos em <http://www.leouieda.com/blog/python-hawaii-2017.html>.

## 4.2 Disciplinas de graduação

Desde minha contratação na UERJ em 2014, ministrei as seguintes disciplinas:

- *Geologia Geral 1* e *Matemática Especial I*<sup>48</sup> para o curso de Oceanografia;
- *Mineralogia e Petrologia* para o curso de Biologia;
- *Geofísica 1*<sup>49</sup> e *Geofísica 2*<sup>50</sup> para o curso de Geologia;

A disciplina Matemática Especial I consiste em uma breve introdução à programação seguida dos conceitos básicos de cálculo numérico. Os alunos passam cerca de 80% do tempo em sala de aula trabalhando em grupos para a solução de exercícios. Para cada tema abordado, os grupos recebem repositórios individuais na página <https://www.github.com> contendo as instruções para os exercícios. A entrega dos exercícios é feita de forma digital através desses repositórios que são agrupados em contas de usuário que eu controlo. Por exemplo, todas as soluções entregues pelos grupos de 2015 estão na página <https://github.com/mat-esp-2015>. Foi somente através dessa abordagem digital que eu fui capaz de administrar as

<sup>45</sup><https://github.com/leouieda/verao2016>

<sup>46</sup><https://github.com/leouieda/python-geologia-2016>

<sup>47</sup><https://github.com/leouieda/python-hawaii-2017>

<sup>48</sup><https://github.com/mat-esp>

<sup>49</sup><https://github.com/leouieda/geofisica1>

<sup>50</sup><https://github.com/leouieda/geofisica2>

duas turmas, com aproximadamente 40 alunos em cada uma, do segundo semestre de 2015.

As duas disciplinas de geofísica do curso de geologia são divididas em aulas teóricas e aulas práticas em proporções iguais. Em ambas disciplinas, utilizo o *Fatiando a Terra* em conjunto com documentos chamados *Jupyter notebooks*<sup>51</sup> para criar os exercícios das aulas práticas. Os *notebooks* permitem inserir código, texto, imagens, equações e vídeos em único documento interativo. Os alunos trabalham na atividade prática em grupos e são guiados pelo texto dos *notebooks*, que contém explicações e perguntas. Em 2016, a primeira turma de alunos que cursou as disciplinas de geofísica comigo me escolheu como Parainfo em sua formatura.

### 4.3 Orientações, coorientações e treinamento

Atualmente, sou coorientador da tese de doutorado do aluno Santiago Soler, cujo orientador é o Prof. Dr. Mario Ernesto Gimenez da Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Conheci o Santiago através das contribuições que ele submeteu para o *Fatiando a Terra*. Em 2016, ele e o Prof. Gimenez me convidaram para ser coorientador no projeto de doutorado “Modelos de inversão conjunta de dados gravimétricos e de função do receptor através do uso de tesseroides”. O trabalho está em estágio inicial e ainda não possui resultados publicados.

Em 2014, fui selecionado pela UERJ para participar do projeto QUALITEC. Esse projeto financiava bolsas para técnicos de nível superior que trabalhariam nos laboratórios da UERJ e seriam treinados nas suas respectivas áreas de atuação. Recebi uma dessas bolsas para o Laboratório de Geofísica de Exploração, do qual sou o coordenador. Selecionei para a vaga o técnico Victor Thadeu Xavier de Almeida que é extremamente competente e tem formação sólida em física e geofísica. Como parte do programa QUALITEC, treinei o Victor na linguagem de programação Python e nos diversas técnicas do desenvolvimento de software. Ele fez contribuições para o *Fatiando a Terra* e sua ajuda foi indispensável nas aulas de Matemática Especial I.

Antes da minha viagem para a University of Hawaii, orientei dois alunos de iniciação científica. A aluna Fernanda Vianna Gatts trabalhou no projeto “Variações do volume do aquífero Guarani determinadas por dados de gravidade do satélite GRACE”. O aluno Vinícius Vianna Riguête do curso de Geologia continua desenvolvendo seu trabalho no projeto “Estudo gravimétrico das intrusões Eo-cretácicas da Namíbia”.

---

<sup>51</sup><http://jupyter.org>

## 5 Curriculum Vitae

### 5.1 Formação acadêmica

- **Pós-doutorado** (02/2017 - Presente), University of Hawaii, Honolulu, E.U.A. Projeto: Expansion of the Generic Mapping Tools (GMT) to the Python programming language. Supervisor: Paul Wessel. Bolsista da National Science Foundation (NSF), E.U.A.
- **Doutorado em Geofísica** (11/2011 - 04/2016), Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil. Tese: Modelagem direta e inversão de campos gravitacionais em coordenadas esféricas. Orientadora: Valéria Cristina Ferreira Barbosa. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).
- **Mestrado em Geofísica** (02/2010 - 10/2011), Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação: Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities. Orientadora: Valéria Cristina Ferreira Barbosa. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).
- **Intercâmbio Internacional** (08/2008 - 05/2009), York University, Toronto, Canadá.
- **Bacharelado em Geofísica** (02/2004 - 12/2009), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Trabalho de conclusão: Cálculo do tensor gradiente gravimétrico utilizando tesseroides. Orientadora: Naomi Ussami. Bolsista da Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf).

### 5.2 Atuação profissional

- **Professor Assistente** (02/2014 - Presente), regime de 40 horas semanais, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Coordenador do Laboratório de Geofísica de Exploração. Responsável pelas disciplinas Geofísica 1, Geofísica 2 e Matemática Especial I.

### 5.3 Coordenação de Projetos

- **Projeto Qualitec 2014 para bolsista de Nível Superior** (10/2014 - Presente). Bolsa para treinamento de um técnico de nível superior para o Laboratório de Geofísica de Exploração (LAGEX). Financiador: Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

## 5.4 Revisor de periódicos

- Computers & Geosciences - Início em 2011.
- Geophysics - Início em 2013.
- Central European Journal of Geosciences (Open Geosciences) - Início em 2013.
- Pure and Applied Geophysics - Início em 2015.
- Journal of Applied Geophysics - Início em 2015.
- Geophysical Prospecting - Início em 2015.
- Geophysical Journal International - Início em 2015.

## 5.5 Artigos publicados

1. **Uieda, L.**, and V. C. F. Barbosa (2017), Fast nonlinear gravity inversion in spherical coordinates with application to the South American Moho, *Geophys. J. Int.*, 208(1), 162-176, doi:10.1093/gji/ggw390.
2. **Uieda, L.** (2017), Step-by-step NMO correction, *The Leading Edge*, 36(2), 179-180, doi:10.1190/tle36020179.1.
3. **Uieda, L.**, V. Barbosa, and C. Braitenberg (2016), Tesseroids: Forward-modeling gravitational fields in spherical coordinates, *GEOPHYSICS*, F41-F48, doi:10.1190/geo2015-0204.1.
4. Carlos, D. U., **L. Uieda**, and V. C. F. Barbosa (2016), How two gravity-gradient inversion methods can be used to reveal different geologic features of ore deposit – A case study from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil), *Journal of Applied Geophysics*, doi:10.1016/j.jappgeo.2016.04.011.
5. Oliveira Jr., V. C., D. P. Sales, V. C. F. Barbosa, and **L. Uieda** (2015), Estimation of the total magnetization direction of approximately spherical bodies, *Nonlin. Processes Geophys.*, 22(2), 215-232, doi:10.5194/npg-22-215-2015.
6. **Uieda, L.**, V. C. Oliveira Jr., and V. C. F. Barbosa (2014), Geophysical tutorial: Euler deconvolution of potential-field data, *The Leading Edge*, 33(4), 448-450, doi:10.1190/tle33040448.1.

7. Carlos, D. U., **L. Uieda**, and V. C. F. Barbosa (2014), Imaging iron ore from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil) using geophysical inversion and drill hole data, *Ore Geology Reviews*, 61, 268-285, doi:10.1016/j.oregeorev.2014.02.011.
8. Melo, F. F., V. C. F. Barbosa, **L. Uieda**, V. C. Oliveira, and J. B. C. Silva (2013), Estimating the nature and the horizontal and vertical positions of 3D magnetic sources using Euler deconvolution, *GEOPHYSICS*, 78(6), J87-J98, doi:10.1190/geo2012-0515.1.
9. Oliveira Jr., V. C., V. C. F. Barbosa, and **L. Uieda** (2013), Polynomial equivalent layer, *GEOPHYSICS*, 78(1), G1-G13, doi:10.1190/geo2012-0196.1.
10. **Uieda, L.**, and V. C. F. Barbosa (2012), Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities, *GEOPHYSICS*, 77(4), G55-G66, doi:10.1190/geo2011-0388.1.

## 5.6 Trabalhos completos publicados em anais de eventos

1. Melo, F. F., V. C. F. Barbosa, **L. Uieda**, V. C. O. Jr, and J. B. C. Silva (2014), A Single Euler Solution Per Anomaly, in 76th EAGE Conference and Exhibition 2014.
2. **Uieda, L.**, V. C. Oliveira Jr, and V. C. F. Barbosa (2013), Modeling the Earth with Fatiando a Terra, in Proceedings of the 12th Python in Science Conference, edited by S. van der Walt, J. Millman, and K. Huff, pp. 91-98.
3. **Uieda, L.**, and V. C. F. Barbosa (2012), Use of the “shape-of-anomaly” data misfit in 3D inversion by planting anomalous densities, in SEG Annual Meeting, pp. 1-6, Society of Exploration Geophysicists.
4. Carlos, D. U., **L. Uieda**, Y. Li, V. C. F. Barbosa, M. A. Braga, G. Angeli, and G. Peres (2012), Iron ore interpretation using gravity-gradient inversions in the Carajás, Brazil, in SEG Annual Meeting, pp. 1-5, Society of Exploration Geophysicists.
5. Oliveira Jr., V. C., V. C. F. Barbosa, and **L. Uieda** (2012), Camada Equivalente Polinomial, in V Simpósio Brasileiro de Geofísica.
6. **Uieda, L.**, E. P. Bomfim, C. Braitenberg, and E. Molina (2011), Optimal forward calculation method of the Marussi tensor due to a geologic structure at GOCE height, in Proceedings of the 4th International GOCE User Workshop.

7. **Uieda, L.**, and V. C. F. Barbosa (2011), Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities, in SEG Annual Meeting.
8. **Uieda, L.**, and V. C. F. Barbosa (2011), 3D gravity gradient inversion by planting density anomalies, in 73th EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC.
9. **Uieda, L.**, and V. C. Barbosa (2011), 3D gravity inversion by planting anomalous densities, in 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
10. Carlos, D. U., **L. Uieda**, V. C. F. Barbosa, M. A. Braga, and A. A. S. Gomes (2011), In-depth imaging of an iron orebody from Quadrilátero Ferrífero using 3D gravity gradient inversion, in SEG Annual Meeting.
11. Carlos, D. U., V. C. Barbosa, **L. Uieda**, and M. A. Braga (2011), Inversão de Dados de Aerogradiometria Gravimétrica 3D-Ftg Aplicada a Exploração Mineral na Região do Quadrilátero Ferrífero, in 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

## 5.7 Programas de computador

- **Tesseroids** (2009 - Presente). Página oficial: <http://tesseroids.leouieda.com>. Código fonte: <https://github.com/leouieda/tesseroids>. Linguagem de programação: C. Licença: BSD 3-clause License. DOI da versão mais recente (1.2.1): <https://doi.org/10.5281/zenodo.582366>.
- **Fatiando a Terra** (2010 - Presente). Página oficial: <http://fatiando.org>. Código fonte: <https://github.com/fatiando/fatiando>. Linguagem de programação: Python. Licença: BSD 3-clause License. DOI da versão mais recente (0.5): <https://doi.org/10.5281/zenodo.157746>.
- **GMT/Python** (2017 - Presente). Página oficial: <https://genericmappingtools.github.io/gmt-python/>. Código fonte: <https://github.com/GenericMappingTools/gmt-python>. Linguagem de programação: Python. Licença: BSD 3-clause License.

## 5.8 Apresentações de trabalho

1. **Uieda, L.** and P. Wessel (2017), Bringing the Generic Mapping Tools to Python. Scientific Computing with Python (Scipy). Austin, E.U.A.

2. **Uieda, L.** (2017), Inverting gravity to map the Moho: A new method and the open source software that made it possible. Department of Geology and Geophysics, University of Hawaii, Honolulu, E.U.A.
3. **Uieda, L.** (2016), *Fatiando a Terra: Construindo uma base para ensino e pesquisa de geofísica*. Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil.
4. **Uieda, L.** (2015), *Fatiando a Terra: Construindo uma base para ensino e pesquisa de geofísica*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
5. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2014), Gravity inversion in spherical coordinates using tesseroids. EGU General Assembly, Viena, Áustria.
6. **Uieda, L.**, Oliveira Jr., V. C. and Barbosa, V. C. F. (2014), Using *Fatiando a Terra* to solve inverse problems in geophysics. *Scientific Computing with Python (Scipy)*. Austin, E.U.A.
7. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2013), 3D magnetic inversion by planting anomalous densities. AGU Meeting of the Americas, Cancun, México.
8. **Uieda, L.**, Oliveira Jr., V. C., and Barbosa, V. C. F. (2013), Modeling the Earth with *Fatiando a Terra*. *Scientific Computing with Python (Scipy)*. Austin, E.U.A.
9. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2012), Rapid 3D inversion of gravity and gravity gradient data to test geologic hypotheses. International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems, Veneza, Itália.
10. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2012), Use of the “shape-of-anomaly” data misfit in 3D inversion by planting anomalous densities. SEG Annual Meeting, Las Vegas, E.U.A.
11. Carlos, D. U., **Uieda, L.**, Li, Y., Barbosa, V. C. F., Braga, M. A., Angeli, G., Peres, G. (2012), Iron ore interpretation using gravity-gradient inversions in the Carajás, Brazil. SEG Annual Meeting, Las Vegas, E.U.A.
12. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2011), 3D gravity gradient inversion by planting density anomalies. EAGE Conference and Exhibition, Viena, Áustria.
13. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2011), Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities. SEG Annual Meeting, San Antonio, E.U.A.

14. **Uieda, L.** and Barbosa, V. C. F. (2011), 3D gravity inversion by planting anomalous densities. International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Brasil.
15. **Uieda, L.**, Ussami, N., and Braitenberg, C. (2010), Computation of the gravity gradient tensor due to topographic masses using tesseroids. AGU Meeting of the Americas, Foz do Iguaçu, Brasil.

## 5.9 Prêmios e títulos

- PACE student travel grant para participação no 73rd EAGE Conference and Exhibition 2011, Vienna, Austria, financiado pela European Association of Geoscientists and Engineers.
- Student travel grant para participação no SEG Annual Meeting 2011, San Antonio, E.U.A., financiado pela Near Surface Geophysics Section (NSGS).

## 5.10 Participações em bancas

- Menezes, P. T. L., **Uieda, L.**, Santos, L. A. (2016). Participação em banca de Natacha Medeiros Rocha. Mestrado em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Menezes, P. T. L., Mane, M. A., **Uieda, L.** (2016). Participação em banca de Henrique Cavalcanti Pequeno. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

## 5.11 Cursos de curta duração ministrados

- **Uieda, L.** (2017). Introduction to Python Workshop. University of Hawaii, E.U.A.
- **Uieda, L.**, Bianchi, M., Sacek, V. (2016). Python como uma ferramenta numérica em ciências da Terra: Uma nova abordagem de programação. Universidade de São Paulo.
- **Uieda, L.** (2014). Python para Geologia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- **Uieda, L.** (2014). Tópicos de inversão em geofísica. Universidade de Brasília.



- Oliveira Jr., V. C., **Uieda, L.** (2012). Tópicos de inversão em geofísica. Universidade de São Paulo.

## Referências

- Álvarez, O., Gimenez, M., Braitenberg, C., & Folguera, A., 2012. GOCE satellite derived gravity and gravity gradient corrected for topographic effect in the South Central Andes region: GOCE derivatives in the South Central Andes, *Geophysical Journal International*, **190**(2), 941–959.
- Asgharzadeh, M. F., von Frese, R. R. B., Kim, H. R., Leftwich, T. E., & Kim, J. W., 2007. Spherical prism gravity effects by Gauss-Legendre quadrature integration, *Geophysical Journal International*, **169**(1), 1–11.
- Barbosa, V. C. F., Silva, J. B. C., & Medeiros, W. E., 1999. Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution, *Geophysics*, **64**(1), 48–60.
- Bassett, D., Sandwell, D. T., Fialko, Y., & Watts, A. B., 2016. Upper-plate controls on co-seismic slip in the 2011 magnitude 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Nature*, **531**(7592), 92–96.
- Bott, M. H. P., 1960. The use of Rapid Digital Computing Methods for Direct Gravity Interpretation of Sedimentary Basins, *Geophysical Journal International*, **3**(1), 63–67.
- Bouman, J., Ebbing, J., Meekes, S., Abdul Fattah, R., Fuchs, M., Gradmann, S., Haagmans, R., Lieb, V., Schmidt, M., Dettmering, D., & Bosch, W., 2013. GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **35**, 16–30.
- Cannon, J., Lau, E., & Müller, R. D., 2014. Plate tectonic raster reconstruction in GPlates, *Solid Earth*, **5**(2), 741–755.
- Grombein, T., Seitz, K., & Heck, B., 2013. Optimized formulas for the gravitational field of a tesseroid, *Journal of Geodesy*, **87**(7), 645–660.
- Hall, M., 2016. A user guide to the geophysical tutorials, *The Leading Edge*, **35**(2), 190–191.
- Hidalgo-Gato, M. & Barbosa, V., 2017. The monogenic signal of potential-field data: A Python implementation, *Geophysics*, pp. F9–F14.
- Li, Z., Hao, T., Xu, Y., & Xu, Y., 2011. An efficient and adaptive approach for modeling gravity effects in spherical coordinates, *Journal of Applied Geophysics*, **73**(3), 221–231.

- Mariani, P., Braitenberg, C., & Ussami, N., 2013. Explaining the thick crust in Paraná basin, Brazil, with satellite GOCE gravity observations, *Journal of South American Earth Sciences*, **45**, 209–223.
- Matthews, S. J., O'Neill, C., & Lackie, M. A., 2016. A Monte Carlo approach to constraining uncertainties in modelled downhole gravity gradiometry applications, *Exploration Geophysics*.
- Niccoli, M., 2015. Mapping and validating lineaments, *The Leading Edge*, **34**(8), 948–950.
- Oliveira Jr., V. C., Sales, D. P., Barbosa, V. C. F., & Uieda, L., 2015. Estimation of the total magnetization direction of approximately spherical bodies, *Nonlin. Processes Geophys.*, **22**(2), 215–232.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., & Somerton, I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, **55**(1), 80–91.
- Reis, A. L. A., Oliveira, V. C., Yokoyama, E., Bruno, A. C., & Pereira, J. M. B., 2016. Estimating the magnetization distribution within rectangular rock samples, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **17**(8), 3350–3374.
- René, R., 1986. Gravity inversion using open, reject, and “shape-of-anomaly” fill criteria, *GEOPHYSICS*, **51**(4), 988–994.
- Silva, J., Santos, D., & Gomes, K., 2014. Fast gravity inversion of basement relief, *Geophysics*, **79**(5), G79–G91.
- Silva Dias, F. J., Barbosa, V. C., & Silva, J. B., 2009. 3D gravity inversion through an adaptive-learning procedure, *GEOPHYSICS*, **74**(3), I9–I21.
- Socha, K. & Dorigo, M., 2008. Ant colony optimization for continuous domains, *European Journal of Operational Research*, **185**(3), 1155–1173.
- Talwani, M., Worzel, J. L., & Landisman, M., 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, *Journal of Geophysical Research*, **64**(1), 49–59.
- Thompson, D. T., 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, **47**(1), 31–37.

- Uieda, L. & Barbosa, V. C. F., 2012. Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities, *GEOPHYSICS*, **77**(4), G55–G66.
- Uieda, L. & Barbosa, V. C. F., 2017. Fast nonlinear gravity inversion in spherical coordinates with application to the South American Moho, *Geophysical Journal International*, **208**(1), 162–176.
- Uieda, L., Barbosa, V., & Braitenberg, C., 2016. Tesseroids: Forward-modeling gravitational fields in spherical coordinates, *GEOPHYSICS*, pp. F41–F48.
- Wild-Pfeiffer, F., 2008. A comparison of different mass elements for use in gravity gradiometry, *Journal of Geodesy*, **82**(10), 637–653.