

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

**RELATÓRIO DE VIAGEM AO EXTERIOR
EDMONTON, ALBERTA – CANADÁ**

Doutorado Sanduíche na Universidade de Alberta



Walterdale Bridge, Edmonton – Canadá

Izaak Cabral Neto
Pesquisador em Geociências

Natal, 25 de fevereiro de 2021.

SUMÁRIO

I - INTRODUÇÃO	p. 3
II - OBJETIVOS DA VIAGEM	p. 3
III - PROGRAMA DA VIAGEM	p. 3
IV - DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ASSUNTOS TRATADOS	p. 7
V - CONCLUSÕES	p. 14
VI - RECOMENDAÇÕES	p. 14
VII - AGRADECIMENTOS	p. 14
VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	p. 15
IX - ANEXO 1	p. 16

I – INTRODUÇÃO

Eu, Izaak Cabral Neto, Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, lotado na SUREG-RE/NANA e vinculado à DGM/DEREM/DIPEME, sou aluno regular (2018-atual) de Doutorado no Programa de Pós-Graduação Geociências (Mineralogia e Petrologia) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. Minha participação no referido programa de pós-graduação tem aval e acompanhamento da Câmara Técnico-Científica da CPRM.

A Diretoria Executiva (DE) autorizou minha participação no Programa de Capacitação Técnica, na modalidade Doutorado, concedendo dispensa total por um período de 24 meses, a partir de 2019, conforme deliberação apresentada no Memorando nº 117/SEGER/2017 de 03 de agosto de 2017. Em acordo com minha chefia imediata, DIPEME, e no período concedido pela DE, a dispensa total começou a vigorar em 18/03/2019 e se estenderá até 17/03/2021, conforme Memorando nº 001/2019 – DIPEME de 21 de fevereiro de 2019.

O projeto de doutorado aqui referido aborda o Campo Kimberlítico de Juína, que está localizado no estado do Mato Grosso e representa uma das principais regiões produtoras de diamantes no Brasil (Medeiros e Costa, 2018). Esse projeto foi aprovado pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE PRINT USP, Edital Nº 01/2019, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Através desse programa foi concedida uma bolsa de estudos (Nº Processo: CAPES-PRINT - 88887.465645/2019-00) para subsidiar um estágio na Universidade de Alberta, Canadá, no período de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021.

Meu afastamento do país para a realização desse estágio foi aprovado, *ad referendum*, com ônus limitado para a CPRM, pelo Diretor-Presidente da CPRM em 28 de janeiro de 2020 cujo despacho foi publicado no Diário Oficial da União, Nº 36, Seção 2, pág. 40, de 20 de fevereiro de 2020.

Apresenta-se a seguir uma síntese das principais atividades desenvolvidas durante esse estágio de doutorado sanduíche na Universidade de Alberta.

II – OBJETIVO DA VIAGEM

A viagem ao Canadá, realizada no período de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021, teve caráter essencialmente acadêmico. O seu principal objetivo foi a realização de análises isotópicas combinadas dos sistemas U-Pb, Hf e O em zircões mantélicos associados aos kimberlitos de Juína, a fim de caracterizar os processos petrogenéticos envolvidos na evolução e gênese dessas rochas, e avaliar o papel de possíveis componentes reciclados na fonte.

III – PROGRAMA DA VIAGEM

III.1 – Trechos e datas

A viagem foi integralmente realizada de 24 de fevereiro de 2020 a 29 de janeiro de 2021. O deslocamento de ida partiu de Natal (RN) e o retorno de Edmonton (AB). Escalas foram feitas em São Paulo e Toronto em ambos os

deslocamentos. Os trechos domésticos foram realizados via Gol, enquanto os trechos internacionais foram realizados através da Air Canada. Cópias dos cartões de embarque são apresentados no Anexo 1. As passagens foram custeadas pela CAPES no processo supracitado.

III.2 – Local de permanência

Edmonton foi a cidade de permanência no Canadá. Um apartamento localizado no endereço 10121 80 Ave NW T6E 0B9, a 2,5 km de distância da Universidade de Alberta, foi alugado e serviu de residência durante todo o período de estágio. Os custos de locação foram pagos através da bolsa de estudos concedida pela CAPES.

III.3 – Sobre Edmonton

Edmonton é a capital da Província de Alberta (Figura 1). Com área de 683,88 km², ela é uma das maiores cidades do Canadá. Sua população no ano de 2016 foi contabilizada em 932.546 habitantes com densidade populacional de 1.360,9 habitantes/km² (<https://www12.statcan.gc.ca>).



Figura 1- Mapa de localização da cidade de Edmonton (marcador cinza), Alberta, Canadá.

Fundada em 1795 às margens do rio North Saskatchewan, Edmonton é a cidade grande localizada mais ao norte da América do Norte. Apresenta as quatro estações bem definidas. A temperatura média no verão é de 25 °C (máx. 38 °C) e no inverno de -17 °C, com mínimas de até -45 °C. A taxa de precipitação média anual é de 47 cm de chuva e de 123 cm de neve.

A economia local é fortemente centrada na cadeia produtiva do petróleo e gás natural, sendo Alberta o maior produtor desses insumos no Canadá. A produção de petróleo e gás é distribuída para todo o país e, também, exportada para os Estados Unidos. O turismo e a produção de papel, madeira, produtos de

metal e alimentícios também contribuem significativamente para a economia local. Além disso, a cidade é um importante ponto de apoio para projetos de grande porte, tal como a mineração de diamantes nos Territórios do Noroeste.

Edmonton recebe diversos festivais culturais durante todo o ano e, por isso, pode ser considerada como um centro regional de entretenimento. Contudo, a grande maioria desses festivais não ocorreu em 2020 devido à grave crise sanitária provocada pela pandemia do COVID-19. A cidade abriga ainda o maior centro comercial da América do Norte, o West Edmonton Mall.

A moeda é o dólar canadense (CAD\$1 = R\$4,33, cotação em 22/02/2021) e o idioma oficial é o Inglês.

III.4 – Sobre o centro de pesquisa

Os trabalhos do estágio de doutorado sanduíche foram realizados no *Canadian Centre for Isotopic Microanalysis (CCIM)*, ligado ao Departamento de Ciências Atmosféricas e da Terra (Figura 2) da Universidade de Alberta. Com investimento superior a US\$ 28 milhões, o CCIM é equipado com instrumentação de última geração, sendo referência mundial em estudos de diamantes e outros minerais do manto.



Figura 2 – Departamento de Ciências Atmosféricas e da Terra da Universidade de Alberta, Canadá.

O CCIM abrange 315 m² de laboratórios ultralimpos de última geração e 430 m² de espaço para instrumentos, abrigando a única microssonda iônica de alta resolução com sistemas de multicoletores do Canadá (Figura 3A), seis espectrômetros de massa de plasma indutivamente acoplado (incluindo

multicoletores), um estado sólido e dois sistemas de laser UV a gás (excimer; Figura 3B) e seis espectrômetros de massa de ionização térmica, incluindo o único TIMS de contagem de múltiplos íons no Canadá. O CCIM também é apoiado por extensas instalações de preparação e caracterização de amostras e oficinas mecânicas. Nele são desenvolvidos, dentre outros, métodos geoquímicos que permitem prever o potencial de novos depósitos minerais, tais como depósitos primários de diamantes.

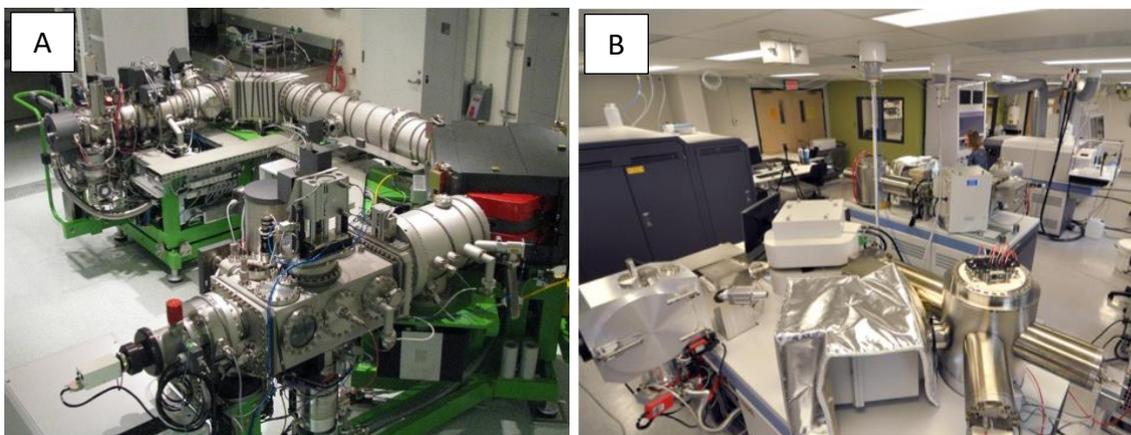


Figura 3 – (A) Microssonda de íons Cameca IMS1280 do CCIM, a qual é equipada com fonte de íons dupla, multicoletor, câmara de armazenamento de 6 posições e canhão de elétrons. (B) *Arctic Resources Geochemistry Laboratory* do CCIM equipado com espectrômetros de massa de última geração e sistemas de amostragem a laser. Esse foi o principal laboratório utilizado no estágio sanduíche no Canadá.

O Departamento de Ciências Atmosféricas e da Terra da Universidade de Alberta é um dos maiores e melhores centros de pesquisa do Canadá, com reputação internacional pelos estudos em temas nas fronteiras do conhecimento. Fundado em 1912, é reconhecido por suas conquistas acadêmicas, excelência em ensino, pesquisa e serviço à comunidade.

III.5 – Sobre o orientador estrangeiro: Prof. Graham Pearson, PhD

Graham Pearson é PhD (1989) em Ciências da Terra pela Leeds University, Reino Unido, e Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas e da Terra da Universidade de Alberta, Canadá. Sua atuação em pesquisa e ensino é reconhecida internacionalmente através de prêmios recebidos (Robert Wilhelm Bunsen Medal pela European Geosciences Union em 2017; Fellow pela Royal Society of Canada em 2016; Canada Excellence Research Chair pelo Governo do Canadá em 2010 e 2017; Wollaston Fund 2003 pela Geological Society em 2003; e Lindgren Prize pela Society of Economic Geologists em 1999) e das suas centenas (>350) de publicações, incluindo artigos em periódicos científicos de alto impacto (vide https://www.researchgate.net/profile/Graham_Pearson/publications). Sua área de pesquisa abrange, dentre outros temas, evolução do manto, geoquímica e petrologia, geoquímica de isótopos radiogênicos, geoquímica de elementos-traço, idade e origem de diamantes e origem da litosfera continental, especialmente crátons.

III.6 – Dificuldades

A crise sanitária provocada pelo COVID-19 vem provocando, desde março de 2020, o fechamento ou a limitação de atividades não-essenciais em Edmonton. A rotina de atividades na Universidade de Alberta também foi afetada, onde a maior parte dos trabalhos passou a ser executada à distância (*home office*). Grande parte das interações sociais e acadêmicas, incluindo reuniões com o orientador, foram executadas via videoconferências. Assim, é importante mencionar que o desenvolvimento das atividades deste estágio foi duramente afetado pela crise sanitária gerada pelo COVID-19.

IV – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS ASSUNTOS TRATADOS

IV.1 – Objetos de estudo

Análises foram realizadas em amostras de zircão (principal objeto deste estudo), granada, clinopiroxênio, espinélio e ilmenita, associadas aos kimberlitos de Juína. Adicionalmente, zircões kimberlíticos de outras regiões do Brasil (Paratinga e APIP) e do mundo foram também incorporados a este estudo. Essas amostras adicionais foram gentilmente cedidas pelos professores Graham Pearson, Rogério Azzone, Darcy Svisero, Larry Heaman e Gerard Brey e incorporadas ao projeto com o intuito de comparações com os zircões de Juína. A Tabela 1, a seguir, apresenta o quantitativo de minerais que foram objetos de estudo durante este estágio.

Tabela 1 – Número de grãos analisados durante o estágio na Universidade de Alberta.

Local de origem	Zircão	Granada	Clinopiroxênio	Espinélio	Ilmenita	Total
Juína (MT)	179	18	57	72	155	481
Paranatinga (MT)	17	-	-	-	-	17
APIP (MG)	143	-	-	-	-	143
África do Sul	117	-	-	-	-	117
Angola	4	-	-	-	-	4
Botsuana	2	-	-	-	-	2
Congo	1	-	-	-	-	1
Ilhas Salomão	17	-	-	-	-	17
Lesoto	10	-	-	-	-	10
Namíbia	2	-	-	-	-	2
Nigéria	9	-	-	-	-	9
Rússia	39	-	-	-	-	39
Tanzânia	11	-	-	-	-	11
EUA	5	-	-	-	-	5
Total	556	18	57	72	155	858

IV.2 – Atividades realizadas

As atividades desenvolvidas na Universidade de Alberta durante o estágio de doutorado sanduíche são descritas a seguir e o cronograma de trabalho é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Cronograma das atividades realizadas no estágio na Universidade de Alberta.

Atividade	2020											2021
	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
Preparação de amostras												
Aquisição de imagens: CL e BSE												
LA-ICP-MS: elementos-traço												
LA-ICP-MS: isótopos U-Pb												
LA-MC-ICP-MS: isótopos Lu-Hf												
SIMS: isótopos de O												
Processamento e modelamento de dados												
Grupo de leitura												
Grupo de seminários												
Reuniões com orientadores												
Webinars												

Preparação de amostras

Os grãos de zircão foram selecionados, fragmentados e montados em seções (*mounts*) de epóxi com diâmetro de 25 mm (Figura 4). Os *mounts* foram polidos até os zircões ficarem expostos e, em seguida, limpos com uma solução de sabão de laboratório e água deionizada. Posteriormente, os *mounts* com zircões foram revestidos com uma película de Au de alta pureza antes da aquisição de imagens de catodoluminescência e elétrons retro-espalhados.

Os grãos de granada, clinopiroxênio, ilmenita e espinélio, bem como os zircões da Província Ígnea Alto Paranaíba (APIP), já haviam sido montados em seções de epóxi no Brasil. Nesses casos, apenas o polimento e limpeza se fizeram necessários.

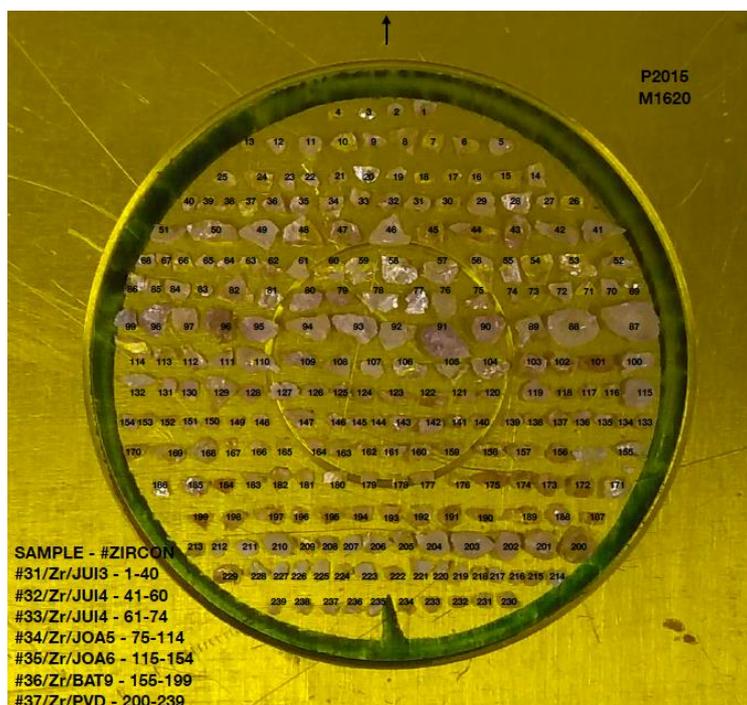


Figura 4 – Exemplo de uma montagem de zircões para confecção de *mount*. A circunferência maior tem 25 mm de diâmetro.

Aquisição de imagens

Imagens de catodoluminescência e elétrons retro-espalhados dos zircões montados foram obtidas a fim de identificar e caracterizar suas microtexturas e estruturas internas, e selecionar alvos para análises isotópicas. As imagens foram feitas no CCIM a partir do microscópio eletrônico de varredura modelo Zeiss EVO MA15 (Figura 5A) equipado com um detector de catodoluminescência de banda larga (CL) de alta sensibilidade. As condições do feixe utilizadas foram 15kV e corrente de amostra de 3 a 5 nA. A Figura 5B apresenta um exemplo de imagem de catodoluminescência obtida nos zircões estudados.

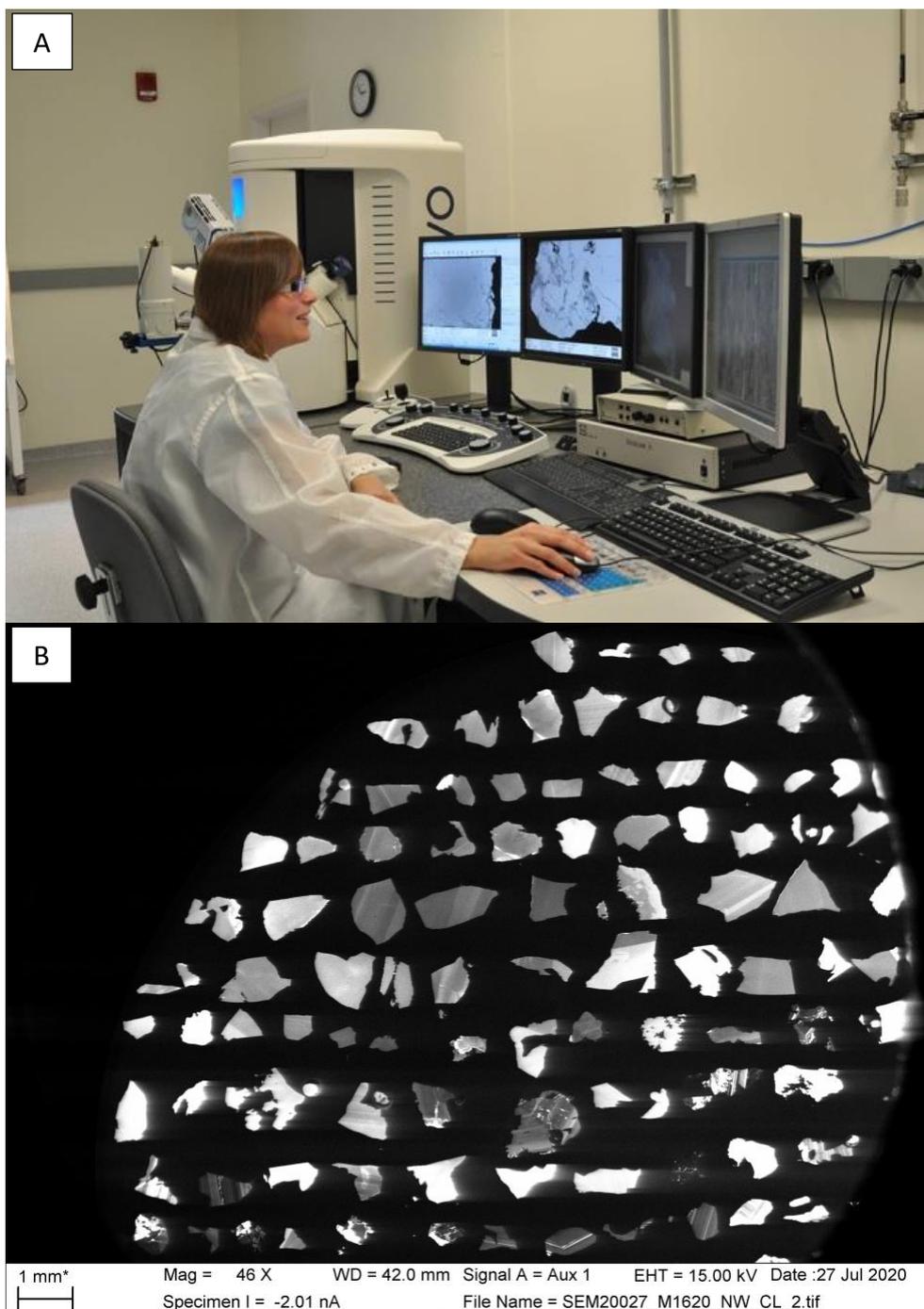


Figura 5 – (A) Microscópio eletrônico de varredura modelo Zeiss EVO MA15 do CCIM utilizado para a aquisição de imagens de catodoluminescência e elétrons retro-espalhados dos zircões estudados. (B) Exemplo de imagem de catodoluminescência dos zircões estudados.

Aquisição de dados analíticos

Muito além dos objetivos inicialmente propostos para este projeto de doutorado sanduíche, concentrações de elementos-traço de todos os zircões aqui estudados (Tabela 1) e de amostras de granada, clinopiroxênio, espinélio e ilmenita relacionadas aos kimberlitos de Juína foram obtidas. Somam-se, ainda a este conjunto, os dados isotópicos dos sistemas U-Pb, Hf e O de zircões kimberlíticos de Juína e de outras partes do Brasil (APIP e Paranatinga). As concentrações de elementos-traço e dos isótopos de U-Pb e Hf foram obtidas por LA-(MC)-ICP-MS, enquanto as de isótopos de O foram obtidas por SIMS. A Figura 6, logo abaixo, apresenta o panorama geral de análises realizadas e os detalhes metodológicos de cada uma dessas técnicas são apresentados a seguir.

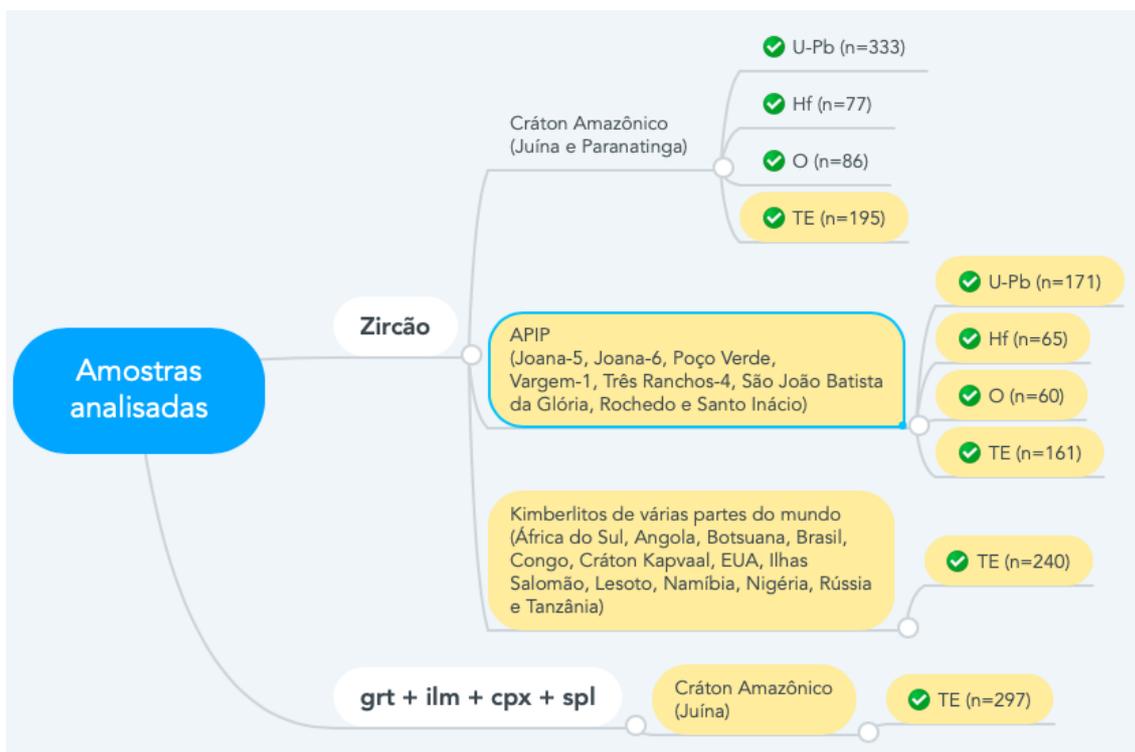


Figura 6 – Quadro sinótico dos tipos e quantidades de análises realizadas durante o estágio de doutorado sanduíche na Universidade de Alberta. As caixas amarelas representam as amostras/análises adicionais que foram incorporadas ao projeto.

LA-(MC)-ICP-MS.

- Elementos-traço: concentrações de elementos-traço de zircão, granada, clinopiroxênio, espinélio e ilmenita foram obtidas por LA-ICP-MS usando o sistema de ablação a laser ASI RESOLUTION 193 nm ArF excimer (Figura 7A) acoplado ao espectrômetro de massa Thermo Scientific ELEMENT XR (Figura 7B) do *Arctic Resources Geochemistry Laboratory*. As análises foram realizadas utilizando feixes com diâmetro de 90-130 μm (zircão), 193 μm (granada e clinopiroxênio) e 285 μm (espinélio e ilmenita), taxa de repetição de 6-10 Hz (zircão), 7 Hz (granada e clinopiroxênio) e 10 Hz (óxidos) e fluência de 3,5 J/cm². Os materiais de referência NIST612 e GSD1G foram usados como padrão primário nos silicatos e óxidos, respectivamente. Os isótopos ⁴³Ca (granada e

clinopiroxênio), ^{27}Al (espinélio) e ^{57}Fe (ilmenita) foram empregados como padrões internos utilizando concentrações nominais previamente determinadas por microsonda eletrônica na Universidade de São Paulo. O isótopo ^{29}Si foi empregado como padrão interno para zircão, cuja concentração foi obtida por estequiometria (ZrSiO_4).

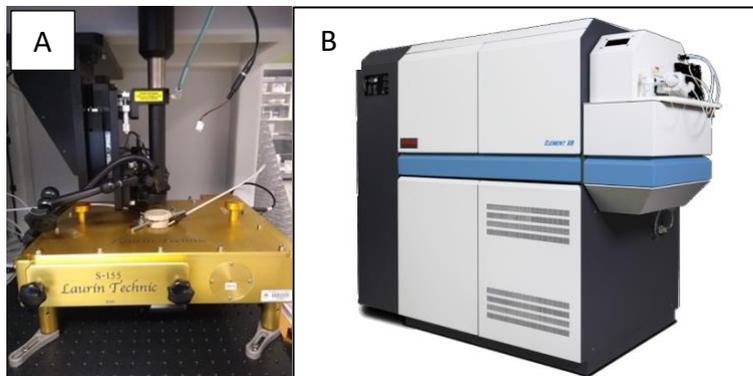


Figura 7 – (A) Célula de ablação a laser ASI RESOLUTION 193 nm ArF excimer e (B) espectrômetro de massa Thermo Scientific ELEMENT XR semelhante ao utilizado para aquisição de dados de elementos-traço e isótopos de U-Pb no *Arctic Resources Geochemistry Laboratory*.

- Isótopos de U-Pb: concentrações de isótopos de U-Pb de zircões mantélicos foram determinadas no *Arctic Resources Geochemistry Laboratory* usando o mesmo sistema de ablação a laser e espectrômetro de massa empregado nas análises de elementos-traço (Figura 7). As análises foram realizadas utilizando feixes com diâmetro de $108\ \mu\text{m}$, taxa de repetição de 6 Hz e fluência de $3,5\ \text{J}/\text{cm}^2$. O material de referência 91500 (Wiedenbeck et al., 1995; Wiedenbeck et al., 2004) foi usado como padrão primário e as idades U-Pb dos zircões foram calculadas usando as constantes de decaimento de $^{238}\text{U} = 1,55125 \times 10^{-10}\ \text{ano}^{-1}$, $^{235}\text{U} = 9,8485 \times 10^{-10}\ \text{ano}^{-1}$ e IsoplotR (Vermeesch, 2018).
- Isótopos de Hf: análises isotópicas de Lu-Hf de zircão foram feitas por LA-MC-ICP-MS no *Arctic Resources Geochemistry Laboratory* usando o mesmo sistema de ablação a laser das análises de elementos-traço e U-Pb (i.e., ASI RESOLUTION 193 nm ArF excimer) acoplado ao espectrômetro de massa multicoletor Thermo Fisher Scientific, Neptune Plus, MC-SF-ICP-MS (Figura 8). Plesovice (Sláma et al., 2008) foi usado como material de referência primário. Além disso, a correção de interferência de Yb foi monitorada e a razão $^{176}\text{Yb}/^{173}\text{Yb}$ medida foi calibrada iterativamente para otimizar a correção de interferência de Yb, controlada através de materiais de referência de zircão com conteúdo de Yb variável (91500, MUN1 e MUN3). A constante de decaimento e os parâmetros usados para cálculos de idade modelo de Hf são $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ (condrito) = 0,0336, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$ (condrito) após Bouvier et al. (2008) e $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ (DM) = 0,038, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,283223$ (DM) após Vervoort e Blichert-Toft (1999). Incertezas sobre as razões iniciais de Hf e valores de épsilon Hf foram calculadas usando a propagação de erro completa, descrita por Ickert (2013).



Figura 8 – Imagem ilustrativa do espectrômetro de massa multicoletor Thermo Fisher Scientific Neptune Plus semelhante ao usado para medição de concentrações isotópicas de Lu-Hf de zircões mantélicos no *Arctic Resources Geochemistry Laboratory*.

A redução dos dados de LA-(MC)-ICP-MS foi realizada no Iolite (Paton et al., 2011; Figura 9).

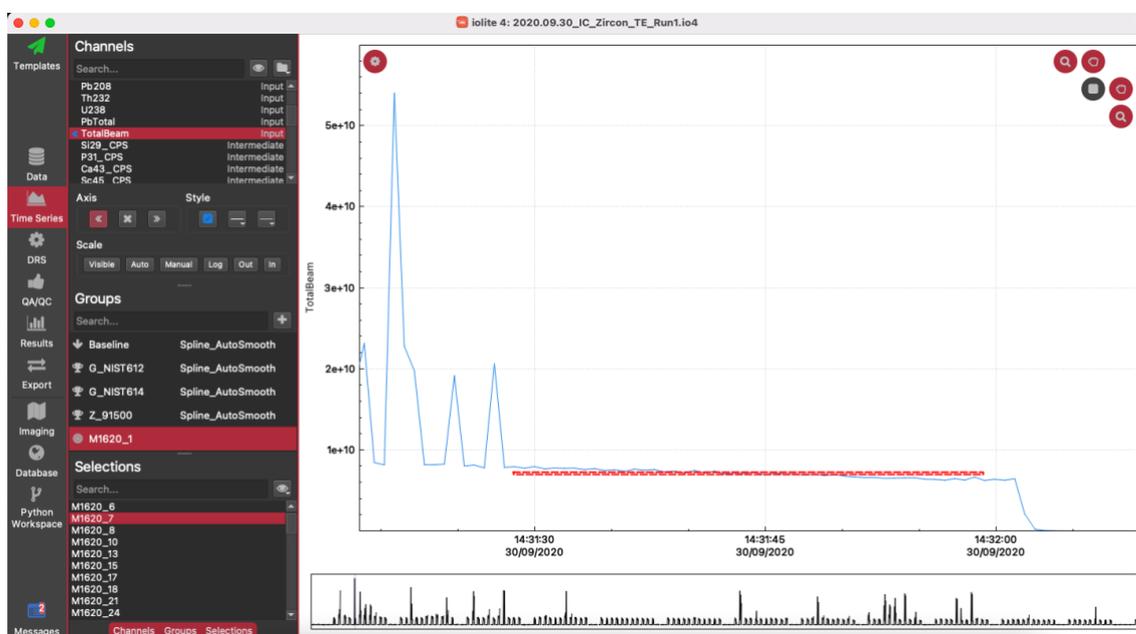


Figura 9 – Redução de dados de elementos-traço de zircão no Iolite 4 (Paton et al., 2011).

SIMS

- Isótopos de O: Isótopos de oxigênio (^{18}O , ^{16}O) em zircão foram analisados usando uma microsonda de íons multicoletora Cameca IMS 1280 (Figura 10). Um feixe primário de $^{133}\text{Cs}^+$ foi operado com energia de impacto de 20 keV e corrente de feixe de $\sim 2,0$ nA. O fracionamento de massa instrumental (IMF) foi monitorado por análise repetida do material de referência primário de zircão (S0081 com $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = +4,87$; R. Stern, dados de fluorinação a laser não publicados, Universidade de Oregon), uma vez a cada quatro incógnitas. Um material de referência de zircão secundário, TEM2 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = +8,2\%$; Black et al., 2004), também foi analisado a cada 12 incógnitas.

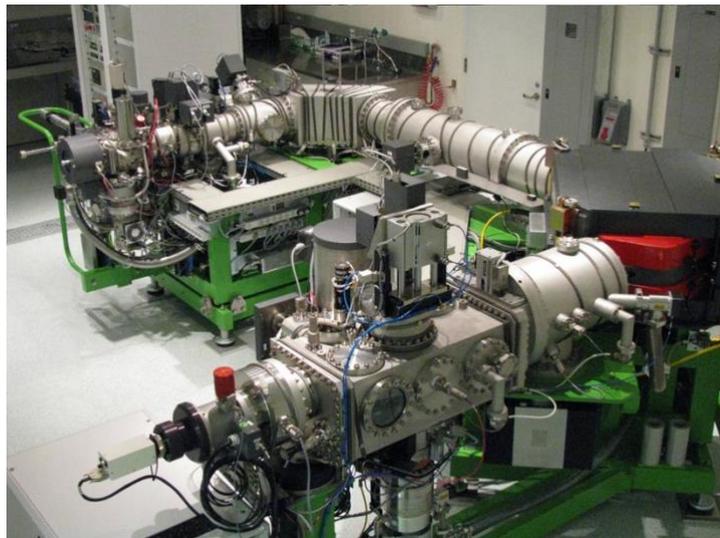


Figura 10 - Microssonda iônica multicoletora Cameca IMS 1280 do CCIM utilizada para análises de isótopos de oxigênio em zircões mantélicos durante o estágio sanduíche.

Atividades extras

Além da preparação e aquisição de imagens e dados analíticos das amostras estudadas, outras atividades foram também desenvolvidas e são sucintamente descritas logo abaixo.

- i. Participação em grupo de leitura: um grupo de leitura foi organizado pela equipe do Professor Pearson com o intuito de discutir temas de relevante interesse nas geociências (e.g., comportamento dos isótopos no manto terrestre, fugacidade de oxigênio no manto, tectônica do Arqueano, gênese de kimberlitos, plumas do manto etc.). Periodicamente, a cada ~15 dias, artigos científicos selecionados sobre um determinado tema eram distribuídos entre os participantes e discutidos em grupo. As reuniões e interações eram sempre realizadas de forma virtual e tinham duração aproximada de 1h cada seção.
- ii. Participação em grupo de seminários: um outro grupo foi também organizado pela equipe do Professor Pearson, com participação de alunos, pesquisadores e professores, para apresentação de seminários sobre temas diversos, comumente, relacionados ao manto terrestre. As reuniões ocorriam periodicamente e de forma virtual. Neste grupo, tive a oportunidade de apresentar a palestra “Brazilian kimberlites and diamonds: an overview” no dia 09 de abril de 2020, abrindo a temporada de seminários naquele ano.
- iii. Reuniões periódicas com os orientadores: reuniões virtuais com os professores Excelso Ruberti (orientador no Brasil) e Graham Pearson (orientador no Canadá) foram periodicamente realizadas a fim de discutir o desenvolvimento dos trabalhos e os dados então adquiridos.
- iv. Webinar Lolite 4: participei ainda de alguns webinários (i.e., webconferências educacionais) dentre os quais merece destaque o “Lolite U-Pb Webinar” apresentado por Bence Paul e Joe Petrus, da Universidade de Melbourne (Austrália), em 30 de abril de 2020. A sistemática para redução de dados U-Pb usando o software Lolite 4 foi apresentada neste webinar e o conhecimento adquirido foi fundamental

para o processamento dos dados de elementos-traço, U-Pb e Hf adquiridos.

V – CONCLUSÕES

A viagem a Edmonton, no Canadá, alcançou plenamente seus objetivos, apesar do período atípico de grave crise sanitária ocasionada pela pandemia do COVID-19. As análises isotópicas combinadas dos sistemas U-Pb, Hf e O em zircões kimberlíticos de Juína – objetivo principal desse estágio – foram obtidas com sucesso. Além dessas, um conjunto de dados de elementos-traço foi obtido a partir de amostras de zircão, granada, clinopiroxênio, ilmenita e espinélio associados também aos kimberlitos de Juína. Juntos, todos esses dados constituem um conjunto analítico bastante robusto do campo kimberlítico de Juína e seu manto litosférico subjacente. Adicionalmente, concentrações de elementos-traço e isótopos de U-Pb, Hf e O de amostras de zircões kimberlíticos das regiões de Paranatinga (MT) e da APIP (MG) foram obtidas utilizando mesma sistemática analítica e serão bastante úteis a fim de comparação com os zircões de Juína. Somam-se ainda as concentrações de elementos-traço obtidas a partir de zircões kimberlíticos de diversas regiões do mundo (Tabela 1 e Figura 6). Com essas informações é possível fazer um comparativo entre os zircões kimberlíticos do Brasil com aqueles de importantes regiões kimberlíticas e diamantíferas do mundo.

VI – RECOMENDAÇÕES

É recomendável que o Serviço Geológico do Brasil – CPRM continue estimulando, incentivando e promovendo a capacitação técnica de seus colaboradores. Pois, um quadro técnico de colaboradores bem treinados e capacitados contribuirá para alcançar a excelência na qualidade de projetos e produtos a serem desenvolvidos por essa empresa.

VII – AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos, ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM por autorizar minha participação neste estágio, aos professores G. Pearson e E. Ruberti por todo suporte e orientação acadêmica, à Dra. Yan Luo por todo apoio no LA-(MC)-ICP-MS, ao Dr. Chiranjeeb Sarkar pelo apoio na programação analítica para LA-ICP-MS e preparação de amostras, a Mark Labbe pelo apoio na preparação de amostras, ao Dr. Richard Stern e Robert Dokken pelo apoio no SIMS e na preparação de amostras, à Dra. Sarah Woodland pelo apoio nos processos burocráticos junto à Universidade de Alberta, à professora Eliane Del Lama (IGc-USP) pelo suporte administrativo junto ao programa PRINT-USP e aos professores G. Pearson, Rogério Azzone, Darcy Svizero, Larry Heaman e Gerard Brey por fornecerem parte das amostras de zircão estudadas. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001.

VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK, L. P., KAMO, S. L., ALLEN, C. M., DAVIS, D., ALEINIKOFF, J. N., VALLEY, J. W., MUNDIL, R., CAMPBELL, I. H., KORSCH, R. J., WILLIAMS, I. S., FOUDOULIS, C. Improved 206Pb/238U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. **Chem. Geol.**, 205, 115-140, 2004.
- BOUVIER, A., VERVOORT, J. D., PATCHETT, P. J. The Lu–Hf and Sm–Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets: **Earth and Planetary Science Letters**, v. 273, no. 1, p. 48-57, 2008. doi: 10.1016/j.epsl.2008.06.010.
- ICKERT, R.B. Algorithms for estimating uncertainties in initial radiogenic isotope ratios and model ages. **Chem. Geol.**, 340, 131–138, 2013.
- MEDEIROS, K.A. & COSTA, M.M.D. Diamante. In: Lima, T.M. & Neves, C.A.R. **Sumário Mineral 2016**. Brasília: DNPM, p. 54-55, 2018.
- PATON, C., HELLSTROM, J., PAUL, B., WOODHEAD, J. and HERGT, J. Lolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data: **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 26, no. 12, p. 2508-2518, 2011. doi: 10.1039/C1JA10172B.
- SLÁMA, J., KOŠLER, J., CONDON, D. J., CROWLEY, J. L., GERDES, A., HANCHAR, J. M., HORSTWOOD, M. S. A., MORRIS, G. A., NASDALA, L., NORBERG, N., SCHALTEGGER, U., SCHOENE, B., TUBRETT, M. N., WHITEHOUSE, M. J. Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis: **Chemical Geology**, v. 249, no. 1–2, p. 1-35, 2008. doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.11.005.
- VERVOORT, J.D., BLICHERT-TOFT, J. Evolution of the depleted mantle: Hf isotope evidence from juvenile rocks through time. **Geochim. Cosmochim. Acta**, 63, 533–556, 1999.
- WIEDENBECK, M., ALLE, P., CORFU, F., GRIFFIN, W., MEIER, M., OBERLI, F. v., QUADT, A. v., RODDICK, J., SPIEGEL, W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses: **Geostandards and Geoanalytical Research**, v. 19, no. 1, p. 1-23, 1995. doi: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x.
- WIEDENBECK, M., HANCHAR, J. M., PECK, W. H., SYLVESTER, P., VALLEY, J., WHITEHOUSE, M., KRONZ, A., MORISHITA, Y., NASDALA, L., FIEBIG, J. Further characterisation of the 91500 zircon crystal: **Geostandards and Geoanalytical Research**, v. 28, no. 1, p. 9-39, 2004. doi: 10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x.

IX – ANEXO 1

X1.1 – Cartões de embarque

Brasil-Canadá

AIR CANADA BOARDING PASS 1

CABRALNETO IZAAC
 ECONOMY CLASS / CLASSE ECONOMIQUE
 ETKT0142128431600
 Frequent Flyer/Voyageur assidu
 Cabin/Cabine Y
 Flight/Vol AC 169 Date 25FEB/FEV From/De TORONTO Destination EDMONTON-YEG
 Boarding Time/Heure d'embarquement 13:55 Gate/Porte D31 Seat/Place 37C
 Departure Time/Heure de départ 14:30
 Airline Use/A usage interne 0163 YYZ222367
 Boarding Pass | Carte d'accès à bord
 AIR CANADA
 A STAR ALLIANCE MEMBER
 MEMBRE DE L'ALLIANCE STAR ALLIANCE

AIR CANADA BOARDING PASS 2

CABRALNETO IZAAC
 ECONOMY CLASS / CLASSE ECONOMIQUE
 ETKT0143313107398
 Frequent Flyer/Voyageur assidu
 Cabin/Cabine Y
 Flight/Vol AC 091 Date 24FEB/FEV From/De SAO-PAULO Destination TORONTO
 Boarding Time/Heure d'embarquement 20:00 Gate/Porte 303 Seat/Place 45C
 Departure Time/Heure de départ 20:45
 Airline Use/A usage interne 0083 GRU202390
 Boarding Pass | Carte d'accès à bord
 AIR CANADA
 A STAR ALLIANCE MEMBER
 MEMBRE DE L'ALLIANCE STAR ALLIANCE

GOL CARTÃO DE EMBARQUE/BOARDING PASS

Nome/Name: CABRAL NETO/IZAAC LOCALIZADOR/PNR: EKM5MM

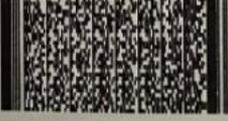
VOO FLIGHT	DATA DATE	H. EMBARQUE BOARDING TIME	PORTÃO GATE	ASSENTO SEAT	DE/H. PARTIDA FROM/DEP. TIME	PARA/H. CHEGADA TO/ARR. TIME	SEG.	CLASSE CLASS
G31589	24FEB	13:00	3	14D	NAT/13:40	GRU/17:10	078	Y
AC0091	24FEB	20:00	***** GATE		GRU/20:45	YYZ/05:00	083	Y

ETKT 014331310739001 DESTINATION: EDMONTON INTL

Canadá-Brasil

 CABRAL NETO IZAAC ECO STANDARD ETKT 0142133681525		Frequent flyer/Voyageur assidu		Cabin Y Zone 8 Cabine	
Flight/Vol	Date	From/De	Destination		
AC 168	28JAN	YEG EDMONTON	YYZ TORONTO		
Boarding time/Heure d'embarquement		Gate/Porte	Seat/Place		
11:05		50	14D		
Remarks/Observations					
Departure time/Heure de depart 11:40 Airline use/A usage interne 0011YEG					
Boarding Pass Carte d'accès à bord					
 AIR CANADA <small>A STAR ALLIANCE MEMBER</small> <small>MEMBRE DU RESEAU STAR ALLIANCE</small>					

 CABRAL NETO IZAAC ECO STANDARD ETKT 0142133681525		Frequent flyer/Voyageur assidu		Cabin Y Zone 4 Cabine	
Flight/Vol	Date	From/De	Destination		
AC 090	28JAN	YYZ TORONTO	GRU SAO PAULO		
Boarding time/Heure d'embarquement		Gate/Porte	Seat/Place		
18:00		E74	27A		
Remarks/Observations					
Departure time/Heure de depart 18:45 Airline use/A usage interne 0006YYZ					
Boarding Pass Carte d'accès à bord					
 AIR CANADA <small>A STAR ALLIANCE MEMBER</small> <small>MEMBRE DU RESEAU STAR ALLIANCE</small>					

 CABRAL NETO IZAAC ECONOMY/ECONOMIQUE ETKT 0142133681525		Frequent flyer/Voyageur assidu		Cabin Y Zone Cabine	
Flight/Vol	Date	From/De	Destination		
G3 1748	29JAN	GRU SAO PAULO	NAT NATAL		
Boarding time/Heure d'embarquement		Gate/Porte	Seat/Place		
12:40			31E		
Remarks/Observations					
Departure time/Heure de depart 13:20 Airline use/A usage interne 0075YEG					
Boarding Pass Carte d'accès à bord					
 AIR CANADA <small>A STAR ALLIANCE MEMBER</small> <small>MEMBRE DU RESEAU STAR ALLIANCE</small>					