

7 GEOCROLOGIA U-PB EM ZIRCÃO

Os dados apresentados neste capítulo são produto da análise U-Pb em zircões extraídos de 21 amostras coletadas na área estudada. Três pertencem ao Complexo Rio Negro, duas a unidade Macuco do Domínio Costeiro. As demais são ortognaisses (6), granitoides (3), paragnaisses (3) e anfibolitos (4) do Domínio Italva. A localização de cada amostra analisada é apresentada no mapa geológico - APÊNDICE A.

Durante a construção do diagrama concórdia tornou-se necessária a exclusão de algumas análises que impediam os devidos cálculos. Os critérios para tal exclusão são: análises realizadas em zircões fraturados e análise cujo laser atingiu parte do núcleo e parte da borda do zircão gerando uma idade sem significado geológico; dados cujo valor de discordância ultrapassava os 10% (quando possível 6%) em ortognaisse e 15% em paragnaisses e; razões isotópicas com erros analíticos acima de 10%.

Os dados analíticos estão apresentados nos Apêndices D a J.

7.1 Geocronologia U-Pb em zircão para o Domínio Italva

7.1.1 Ortognaisses e rochas granitoides

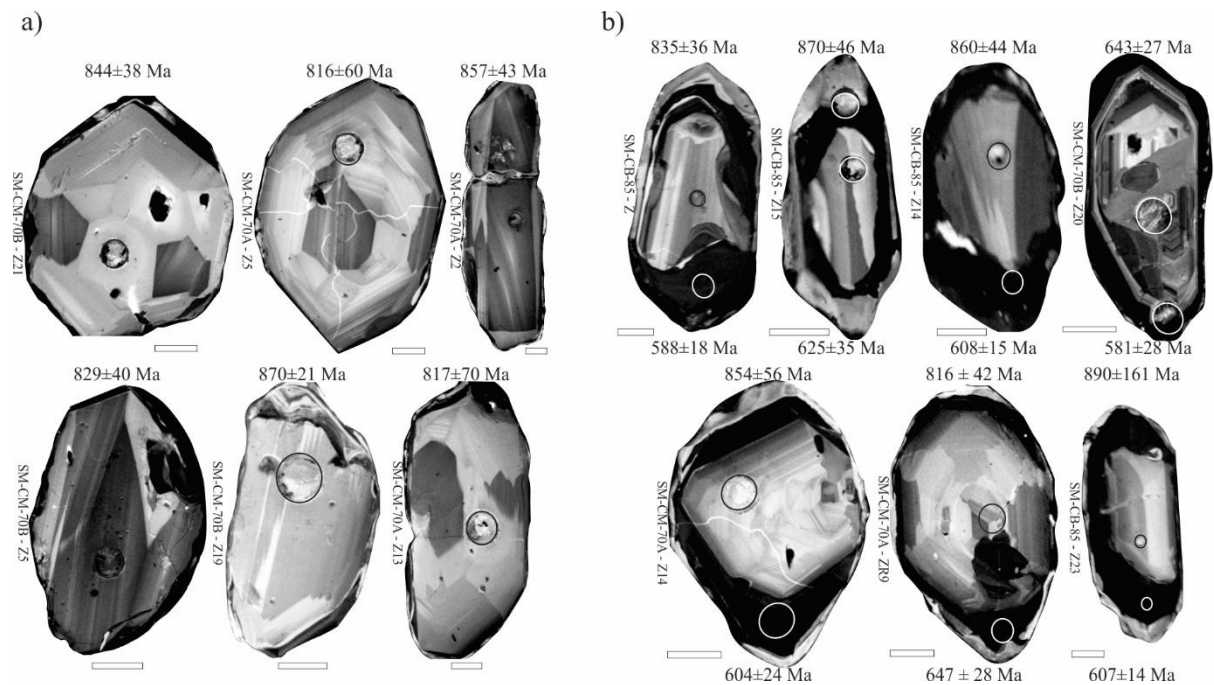
7.1.1.1 Complexo Serra da Prata

Os dados extraídos da análise U-Pb em zircão foram adquiridos a partir de seis amostras do Complexo Serra da Prata. Dentre estas estão cinco amostras de hornblenda biotita ortognaisse dioríticos (SM-CB-85, SMM-CMM-153), tonalíticos (SM-CM-70A, CAM-CMM-184A) e granodioríticos (SM-CM-69 – Figura 18 b) e uma amostra de biotita ortognaisse granitoide (SM-CM-70B) intercalado com o ortognaisse tonalítico SM-CM-70A (Figura 18 c).

Em geral, os grãos de zircão de amostras coletadas são semelhantes. São límpidos, com brilho vítreo e geralmente de cor rosada embora variações incolores e cores marrom, amarelo, cinza e branco tenham sido observadas. O hábito dos grãos é variado desde arredondados (menos comum) a prismáticos com a relação comprimento/largura (c/l) da ordem de 1:1 a 6:1 e tamanho entre 50 e 800 μm de comprimento.

As imagens de CL dos grãos de zircão do CSP revelam zoneamento oscilatório com bandas de espessura variável, típica de zircões ígneos (VAVRA G., 1990), e perfaz quase a totalidades das imagens para todas as amostras analisadas para o complexo (Figura 31).

Figura 31 - Imagem CL de grãos de zircão característicos do Complexo Serra da Prata.



Legenda: Exemplo de imagem CL de grãos de zircão mostrando núcleos ígneos com zoneamento oscilatório (a) e bordas de sobrecrecimento metamórfica (b) para do Complexo Serra da Prata.

Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

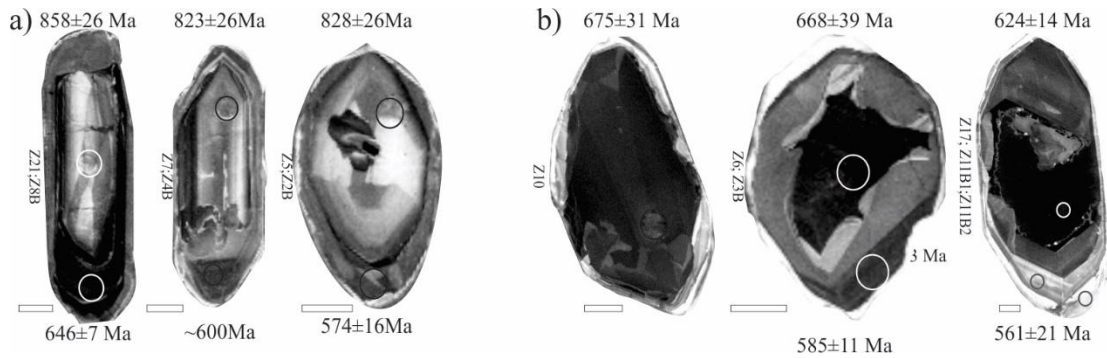
Fonte: A autora, 2018.

Bordas de sobrecrecimento metamórfica de espessura variada também são características desses grãos. Algumas dessas bordas, no entanto, tem espessura menor que o diâmetro do laser o que impediu sua análise direta, como observado em certos grãos da amostra SM-CM-70 A (Figura 31 a).

Os grãos que se diferenciam foram observados apenas na amostra SM-CM-69. Além do zoneamento ígneo e borda de sobrecrecimento típicos, alguns de seus grãos mostram uma

textura interna complexa com núcleos caóticos e de coloração mais escura que a borda (Figura 32).

Figura 32 - Exemplo de imagem CL de grãos de zircão da amostra SM-CM-69 do Complexo Serra da Prata.



Legenda: Imagem CL d grãos de zircão mostrando núcleos ígneos com zoneamento oscilatório (a) e núcleos caóticos (b), ambos com bordas de sobrecrecimento metamórfica.

Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

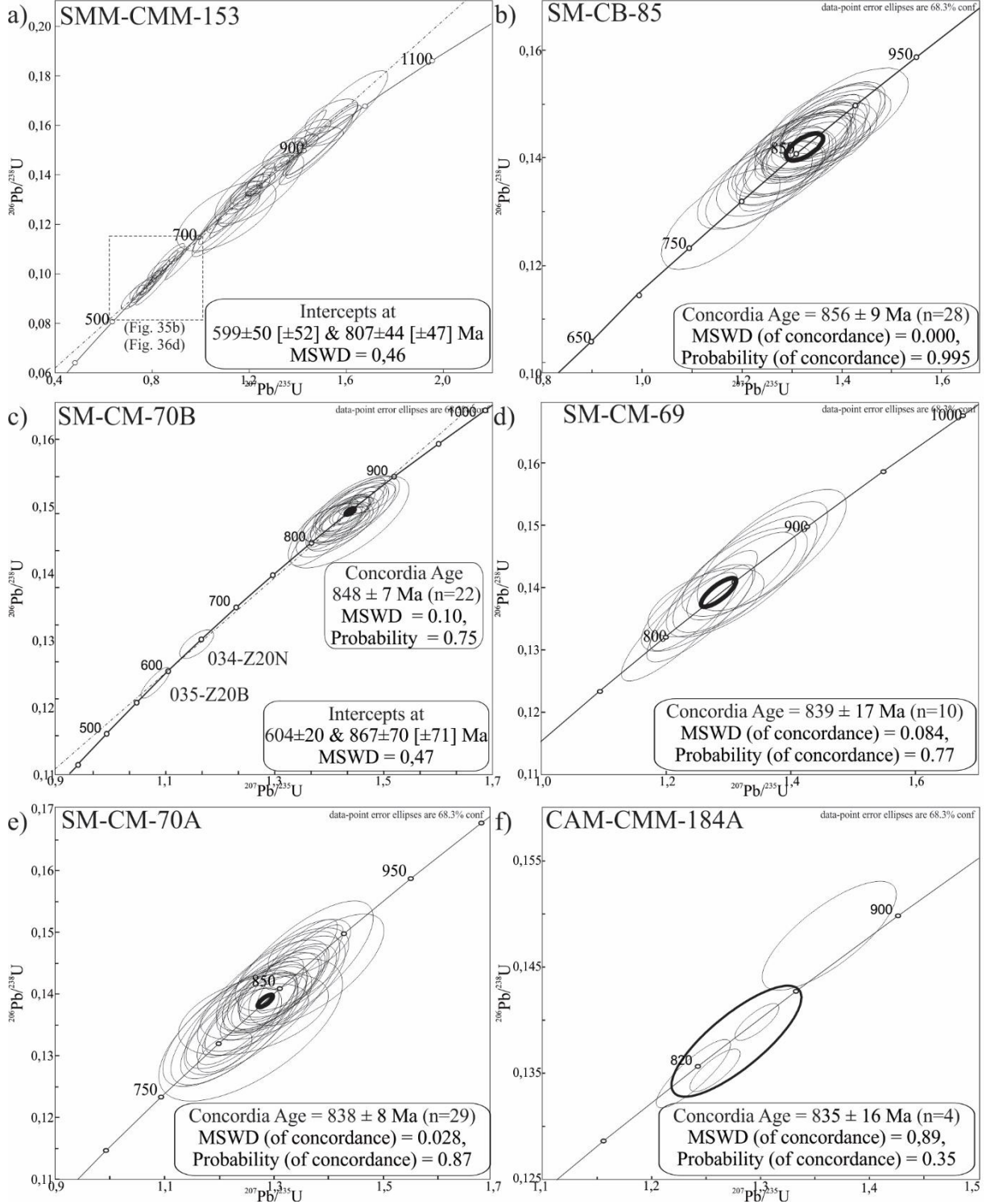
Fonte: A autora, 2018.

Segundo Corfu *et al.* (2003) e Kroner *et al.* (2014), essas características complexas são o resultado de eventos metamórficos que modificam a estrutura pré-existente no grão de zircão. Miller & Wooden (2014) acrescentam que, além de metamorfisados, grãos de zircão pré-existentes podem ser reciclados ao entrar em contato com um líquido fundido, o que é representado por zonas mais escuras nas imagens CL devido ao aumento do teor de U.

A análise dos núcleos ígneos oscilatórios forneceu idades concordantes de 856 ± 9 Ma, 848 ± 7 Ma, 839 ± 17 Ma, 838 ± 8 Ma, 832 ± 16 Ma para cinco das seis amostras analisadas (Figura 33). Os núcleos da amostra SMM-CMM-153 não forneceram uma idade concordante, mas um intercepto superior de idade 807 ± 44 Ma se aproximando das demais (Figura 33 a).

As idades acima são interpretadas como idades de cristalização do Complexo Serra da Prata, o que é corroborado pela razão Th/U maior que 0.1 que, de acordo com Rubatto *et al.* (1999), distingue zircões ígneos.

Figura 33 - Diagramas Concórdia a partir de núcleos de grão ígneos para amostras do Complexo Serra da Prata.

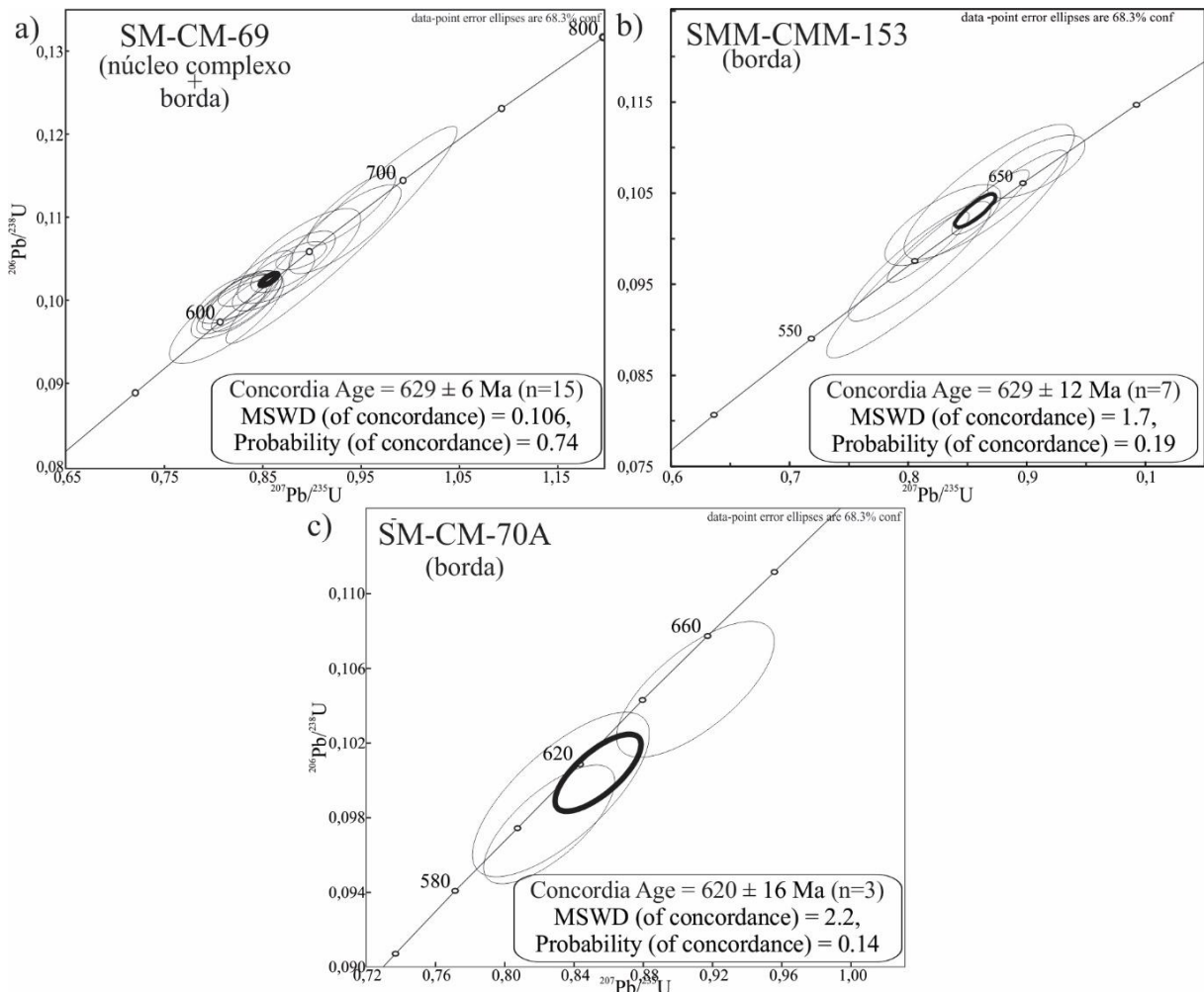


Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 7 a 12 (APÊNDICE D).

Fonte: A autora, 2018.

Os núcleos caóticos e algumas bordas de grãos de zircão da amostra SM-CM-69, que é migmatítica, se mostraram contemporâneos e forneceram idade concordante de 629 ± 6 Ma (Figura 34 a). As amostras SMM-CMM-153 e SM-CM-70A forneceram idades similares a partir de bordas de sobrecrescimento metamórfico que datam 629 ± 12 Ma e 620 ± 16 Ma, respectivamente (Figura 34 b, c).

Figura 34 - Diagrama Concordia a partir de núcleos de grão com núcleos caóticos para amostras do Complexo Serra da Prata.



Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 8, 9 e 11 (APÊNDICE D).

Fonte: A autora, 2018.

Uma vez que o CSP é migmatítico, as idades acima obtidas a partir de bordas e núcleos complexos contemporâneos são aqui interpretadas como consequência de metamorfismo e/ou migmatização.

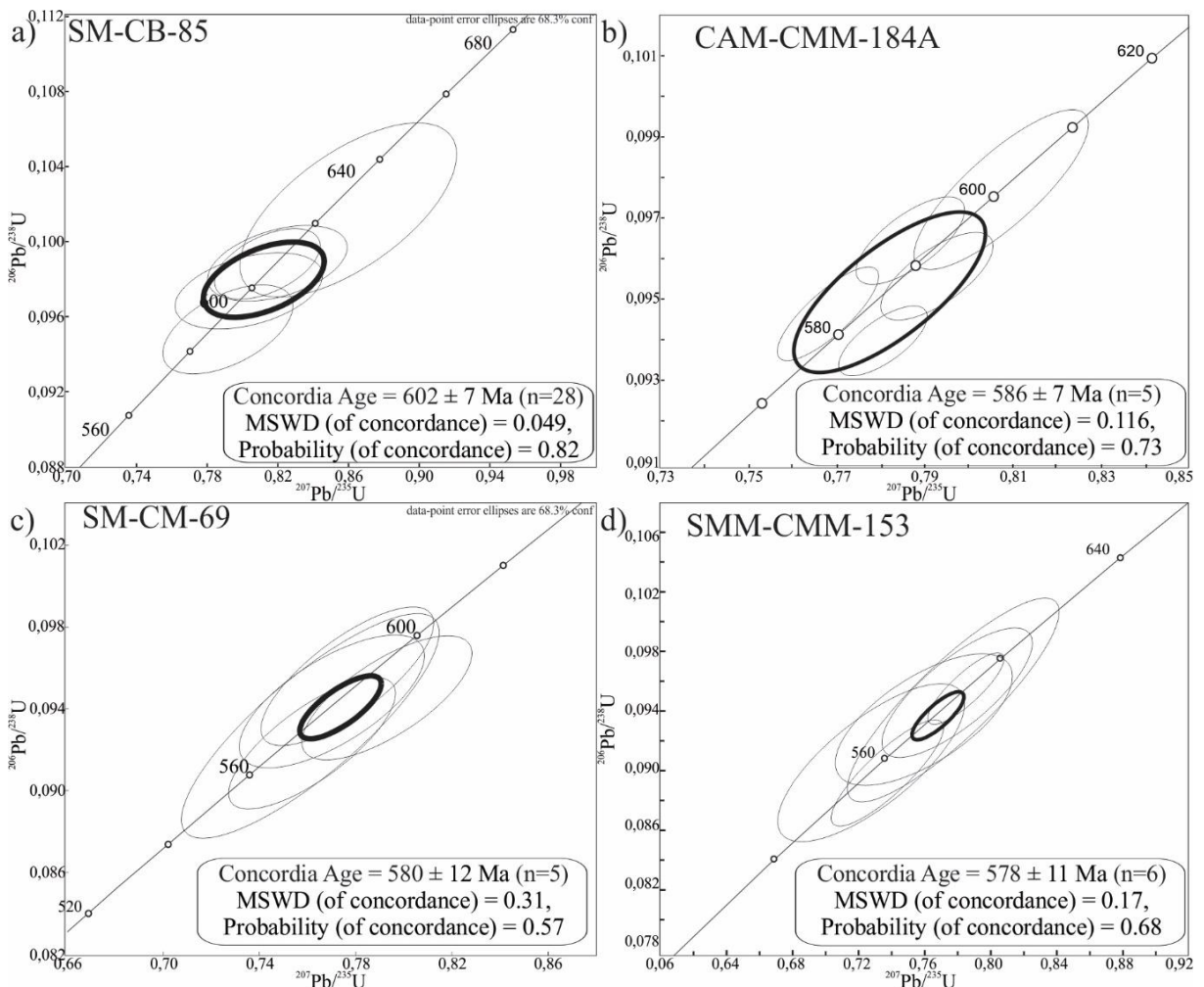
Ressalta-se que essas mesmas idades, embora metamórficas, coincidem com as idades de cristalização do CRN apresentadas no item 7.2.1. Considerando seu caráter intrusivo – descrito no item 5.2.2.1 – as idades metamórficas acima podem ser associadas a esta intrusão

que gerou uma instabilidade termobarométrica no CSP metamorfisando-o e modificando a estrutura interna dos grãos de zircão.

A análise das bordas, com exceção da amostra SM-CM-70 A, forneceu intercepto inferior de 604 ± 20 Ma para a amostra SM-CM-70 B (Figura 33 c) e idades concordantes 602 ± 7 Ma, 586 ± 7 Ma, 580 ± 12 Ma e 578 ± 11 Ma (Figura 35) para as demais.

Estas idades correspondem aos momentos finais de geração do CRN, em torno de 607 Ma, bem como se aproxima das idades de granitos sin-colisionais (599 ± 5 Ma, 588 ± 9 Ma, 589 ± 6 Ma - Tupinambá *et al.*, 2012) e de metamorfismo regional (M1: 590-563 Ma - Heilbron *et al.*, 1995).

Figura 35 - Diagramas Concórdia a partir de bordas metamórficas para amostras do Complexo Serra da Prata.



Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 7, 8, 11 e 12 (APÊNDICE D).

Fonte: A autora, 2018.

Desse modo, os dados geocronológicos aqui apresentados e compilados na tabela 3, sugerem que o CSP cristalizou durante o período Toniano entre cc. de 850 - 830 Ma. Durante a instalação do arco RN, em torno de 630 Ma, sofreu metamorfismo com fusão parcial local e metamorfismo regional final entre cc. 580 - 604 Ma concomitante à etapa sin-colisional.

Tabela 3 - Discriminação e interpretação das idades geradas a partir de grãos de zircão do Complexo Serra da Prata.

Amostra	Cristalização (Núcleo ígneo)	Instalação do arco RN: Metamorfismo/Fusão parcial (Núcleo complexo + borda)	Metamorfismo Regional (borda)
SM-CM-85	856 ± 9 Ma	-	602 ± 7 Ma
CAM-CMM-184A	832 ± 16 Ma	-	586 ± 7 Ma
SM-CM-70B	848 ± 7 Ma	-	604 ± 20 Ma
SM-CM-70A	838 ± 8 Ma	620 ± 16 Ma	-
SM-CM-69	839 ± 17 Ma	629 ± 6 Ma	580 ± 12 Ma
SM-CM-153	~850 Ma	629 ± 12 Ma	578 ± 11 Ma

Fonte: A autora, 2018.

7.1.1.2 Anfibolito

As amostras de anfibolito coletadas para análise U-Pb estão relacionadas a outras unidades do Domínio Italva. Do total de quatro amostras tem-se: duas amostras de anfibolito intercaladas no mármore da Unidade São Joaquim e duas coletadas a partir de lentes associadas ao Complexo Serra da Prata.

7.1.1.2.1 Anfibolito intercalado na Unidade São Joaquim

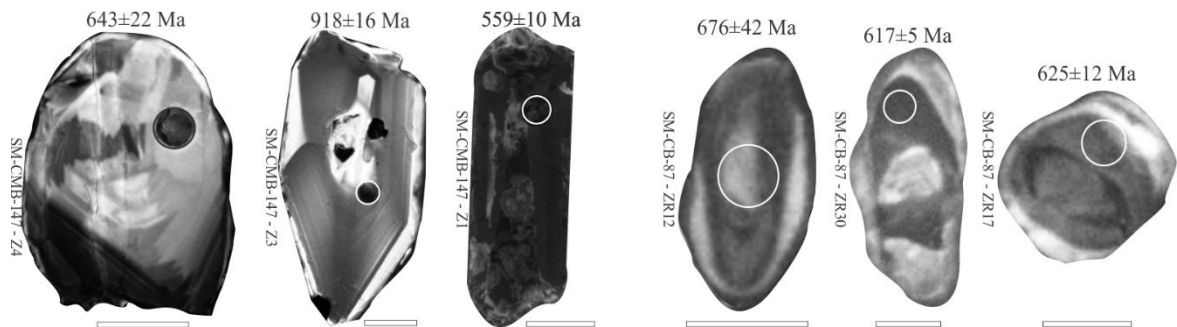
Associado aos mármorees da faixa oeste da unidade São Joaquim, duas amostras de anfibolito (Figura 19) foram coletadas: SM-CMB-147 e SM-CB-87 (Mapa Geológico - APÊNDICE A).

Os grãos de zircão extraídos de ambas as amostras são incolores ou apresentam cor cinza e amarela, tem brilho vítreo e hábito prismático. Da amostra SM-CMB-147 foram recuperados apenas 5 grãos, com tamanho variando entre 65 µm e 170 µm de comprimento e

relação c/l da ordem de 1:1 e 2:1. Já a amostra SM-CB-87 tem grãos com relação c/l da ordem de 1:1, 2:1 e 3:1 e tamanho variando entre 60 μm e 500 μm de comprimento.

As imagens CL (Figura 36) mostram núcleos com zoneamento ígneo e caótico além de bordas de sobrecrecimento metamórfico.

Figura 36 - Exemplo de imagem CL de grãos de zircão para anfibolitos intercalados com mármore da unidade São Joaquim.



Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

Fonte: A autora, 2018.

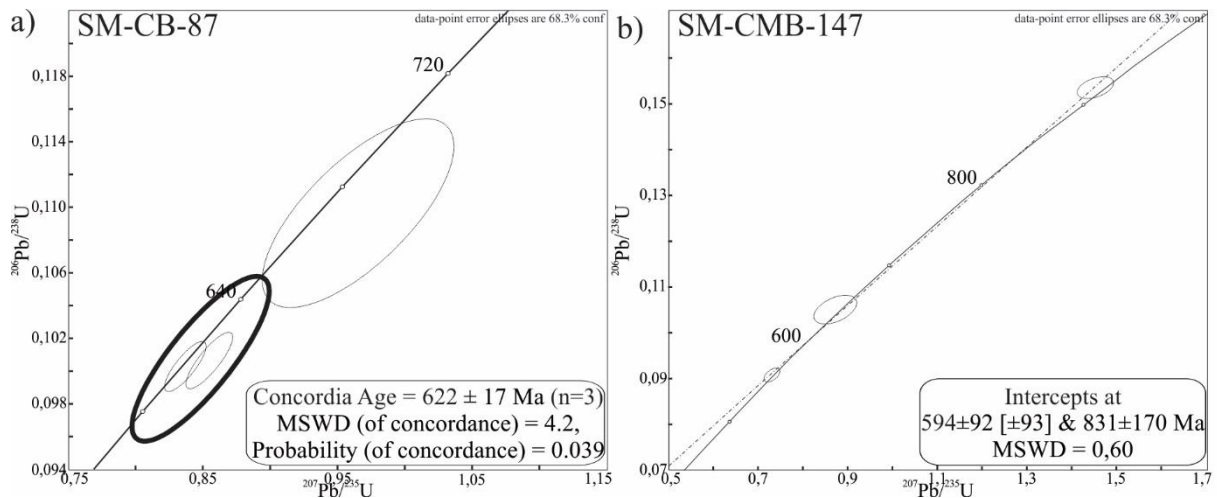
Os resultados obtidos a partir dos grãos da amostra SM-CB-87 mostraram-se altamente discordantes (Disc >20%) sendo aproveitados apenas 3 *spots* (Tabela 13). O mesmo número de *spot* foi obtido para a amostra SM-CMB-147 (Tabela 14).

As idades para a amostra SM-CMB-147 foram obtidas através da construção de discórdia cujo o intercepto superior equivale a idade de 831 Ma e os interceptos inferiores 594 Ma (Figura 37 a, c). A amostra SM-CB-87 forneceu idade concordante de 622 ± 17 Ma (Figura 37 b) a partir de bordas metamórficas.

Essas idades são semelhantes às demais obtidas para ortognaisses do Domínio Italva. Assim, interpreta-se que os anfibolitos associados aos mármore têm idade de cristalização Toniana (>830Ma) a partir de zircão ígneo, o que faz desta uma idade mínima para a deposição carbonática na bacia Italva.

Os núcleos de zircão estão sobrepostos por bordas de sobrecrecimento que revelaram dois eventos metamórficos, um em ~ 624 Ma e outro em ~ 560 Ma, contemporâneos a atividade do arco RN e ao metamorfismo regional, respectivamente.

Figura 37 - Diagrama Concórdia a partir de grãos de zircão para amostras de anfibolitos intercalados com mármore da unidade São Joaquim.



Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 13 e 14 (APÊNDICE E).

Fonte: A autora, 2018.

7.1.1.2.2 Anfibolito incluído no Complexo Serra da Prata

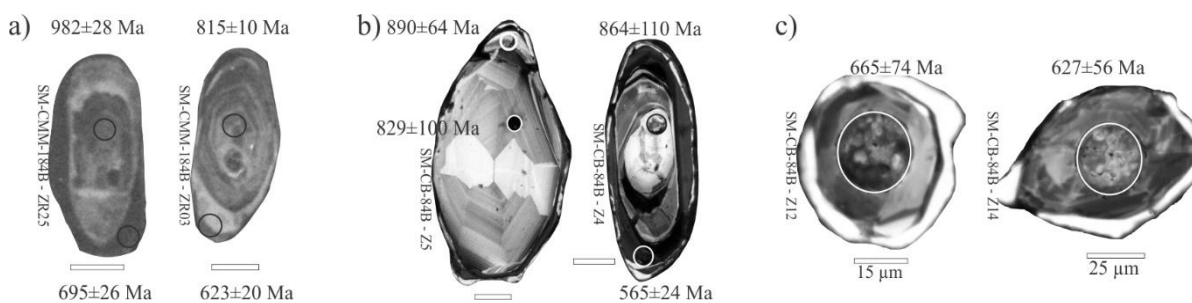
Duas amostras de anfibolitos associados ao CSP foram coletadas. As amostras SM-CB-84B e CAM-CMM-184B orientadas paralelamente à foliação principal e ao bandamento gnáissico do ortognaisse, respectivamente.

Os grãos de zircão presentes em ambas as amostras têm aparência semelhante, porém, distinguem-se quanto ao tamanho e a relação c/l . No geral, são translúcidos, incolores ou de cor branca a amarela e hábito prismático a arredondado.

Os grãos presentes na amostra SM-CMM-184B tem relação c/l da ordem de 1:1, 2:1, 3:1 e 4:1 e tamanho variando entre 40 μm e 500 μm de comprimento. As imagens CL revelam grãos cuja estrutura interna possui núcleos tipicamente ígneos truncados por bordas equivalentes a sobrecrescimento posterior (Figura 38 a).

A amostra SM-CB-84B forneceu grãos de tamanho variado (60 μm a 250 μm) que foram separados em duas populações de tamanho e idades distintas. A primeira população contém grãos de zircão prismáticos, maiores que 200 μm e relação c/l da ordem de 2:1. As imagens CL mostram núcleos com zoneamento ígneo e bordas, nem sempre datáveis, produzidas por sobrecrescimento metamórficos (Figura 38 b).

Figura 38 - Imagem CL de grão de zircão para a amostra de anfibolito associadas ao Complexo Serra da Prata.



Legenda: Imagem CL para a amostra SM-CMM-184B (a); para a primeira população da amostra SM-CB-84B – grãos de zircão com núcleo ígneo zonados e borda metamórfica (b); Imagem CL para a segunda população da amostra SM-CB-84B – zircões tipicamente metamórficos com estrutura interna caótica (c).

Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

Fonte: A autora, 2018.

A segunda população analisada tem grãos de zircão arredondados de tamanho menor que 90 μm e relação *c/l* da ordem de 1:1. Suas imagens CL mostram estrutura interna caótica (Figura 38 c) que, segundo Hoskin & Black (2000), Hoskin & Schaltegger (2003), Corfu *et al.* (2003) e Kroner *et al.* (2014), é característica de zircão metamórfico de alto grau, sendo assim interpretados neste trabalho.

Os núcleos ígneos preservados da amostra SM-CB-84B forneceram idade concordante de 859 ± 31 Ma e, juntamente com a idade de 883 ± 78 Ma (intercepto superior) da amostra SM-CMM-184B, foi interpretada como idade de cristalização magmática (Figura 39 a, c). Essas idades mais antigas concordam com a idade de ca. 848 Ma obtida por TIMS por Heilbron & Machado (2003) para um anfibolito próximo à região de Italva.

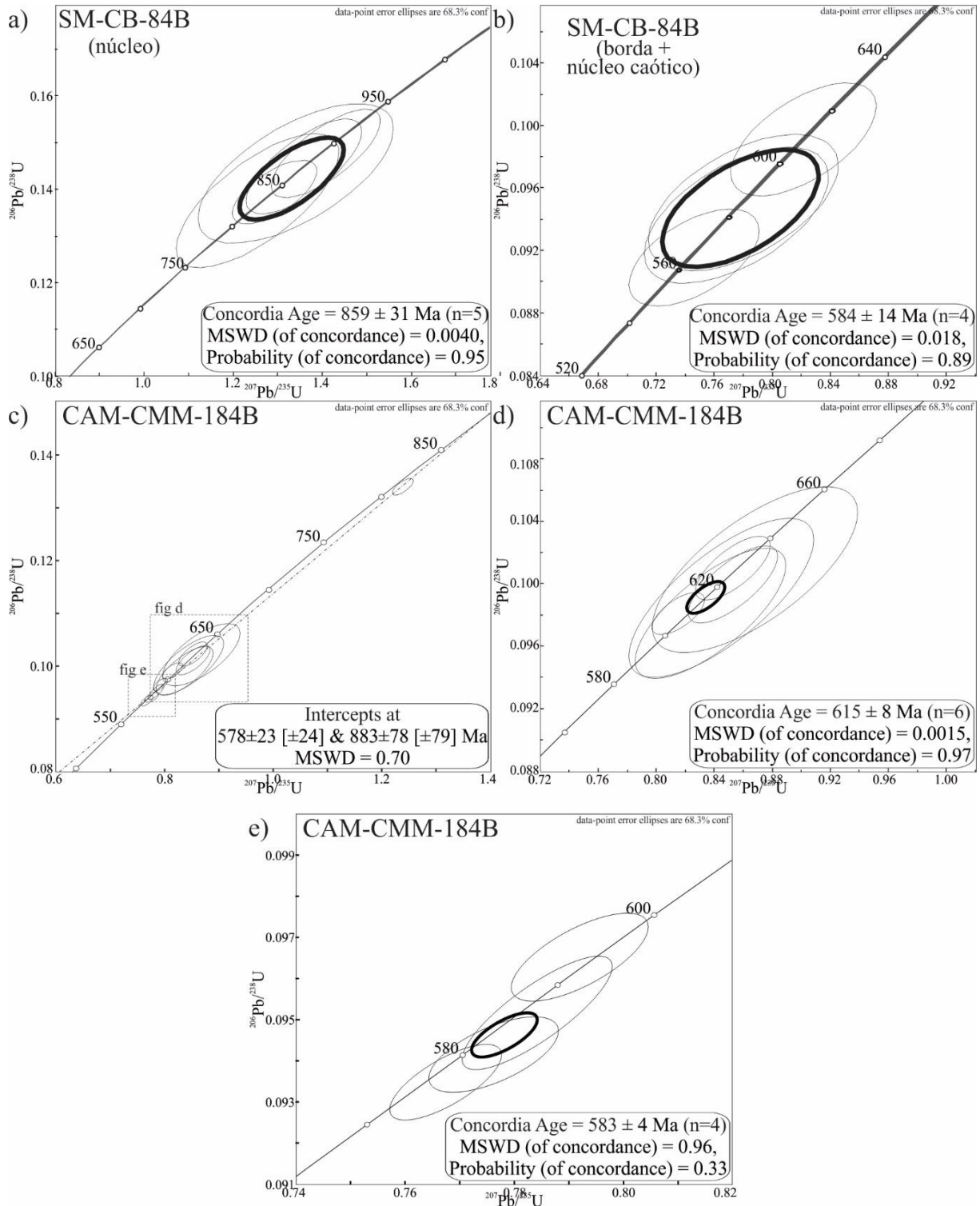
No entanto, a amostra SM-CMM-184B apresentou também núcleos ígneos que forneceram idade concordante de 615 ± 8 Ma (Figura 39 d). Sabendo que há a ocorrência de corpos de anfibolito posteriores ao CSP, como descrito no item 5.1.2.2, interpreta-se que esta amostra represente este caso.

Sendo assim, a idade de cristalização para este corpo (amostra SM-CMM-184B) seria 615 ± 8 Ma, próxima a idade de cristalização do CRN, refletindo a ocorrência de um magmatismo básico contemporâneo ao referido complexo, enquanto a idade de 883 ± 78 Ma seria de grãos de zircões herdados da rocha encaixante, o CSP.

As bordas metamórficas da amostra SM-CB-84B se mostraram contemporâneas tanto aos grãos metamórficos com núcleos caóticos da mesma amostra quanto às bordas da amostra SM-CMM-184B fornecendo a idade concordante de 584 ± 14 Ma e 583 ± 4 Ma datando

episódio metamórfico de alta temperatura (Figura 39 b, e) associado ao período sin-colisional de Heilbron *et al.* (1995).

Figura 39 - Diagramas Concórdia a partir de grãos de zircão de amostras de anfibolito associados ao Complexo Serra da Prata.



Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 15 e 16 (APÊNDICE E).

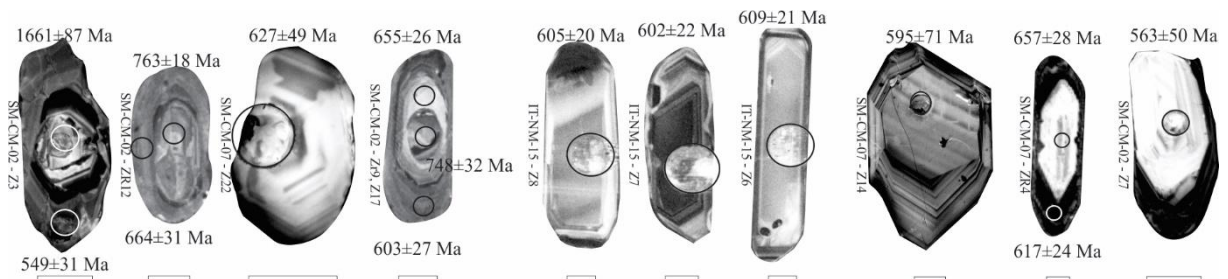
Fonte: A autora, 2018.

7.1.1.3 Suíte Morro do Escoteiro

As três amostras coletadas desta suíte (SM-CM-07, SM-CM-02, IT-NM-15) apresentaram grãos de zircão de cor rosa e amarelada de brilho vítreo e cor marrom fosca. Seu hábito é prismático, sua relação c/l é da ordem de 1:1, 2:1, 3:1 e 5:1 e seu tamanho varia entre 130 μm e 425 μm .

As imagens de CL mostram grãos com estrutura interna oscilatória, típica de zircões ígneos bem como bordas caóticas de sobrecrecimento metamórfico (Figura 40).

Figura 40 - Imagem CL de grãos de zircão mostrando núcleo ígneo zoneamento oscilatório e bordas de sobrecrecimento metamórfica para amostras da Suíte Morro do Escoteiro.



Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

Fonte: A autora, 2018.

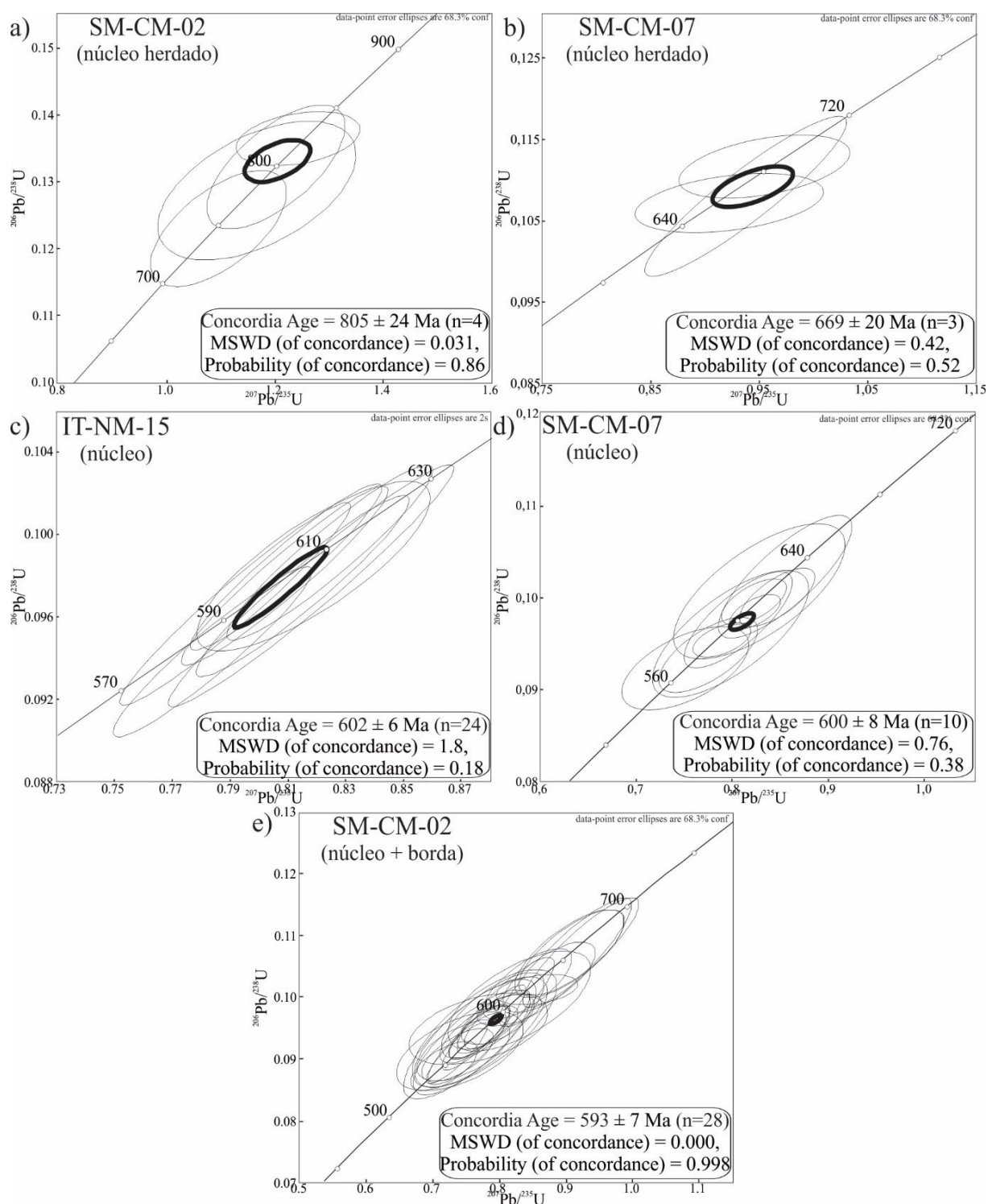
As amostras SM-CM-02 e SM-CM-07 forneceram idades concordantes de 805 ± 24 Ma e 669 ± 20 Ma (Figura 41 a, b), respectivamente, a partir de grãos de zircão portadores de núcleos herdados.

As amostras IT-NM-15 e SM-CM-07 forneceram grãos com núcleos oscilatórios, tipicamente ígneos, cujas idades concordantes de 602 ± 6 Ma e 600 ± 8 Ma, respectivamente, foram interpretadas como idade de cristalização (Figura 41 c, d).

Já a amostra SM-CM-02 forneceu idade concordantes de 593 ± 7 Ma a partir de núcleos e bordas sobrecrestes contemporâneas (Figura 41 e). Este fato converge para a interpretação de que esta idade se refere ao magmatismo (metamorfismo/fusão) gerador desta suíte granítica.

Sabendo que a Suíte Morro do Escoteiro é um leucogranito do tipo-S, pode-se interpretá-la como um leucogranito sin-colisional cristalizado em torno de 600 Ma, idade semelhante as idades de metamorfismo regional dos complexos SP e RN. As idades de 669 ± 20 Ma e 805 ± 24 Ma seriam idades fornecidas por grãos herdados da fonte fundida.

Figura 41 - Diagramas Concórdia a partir de grãos de zircão de amostras da Suíte Morro do Escoteiro.



Nota: Dados numéricos – vide Tabelas 17 a 19 (APÊNDICE F).

Fonte: A autora, 2018.

7.1.2 Grupo Italva

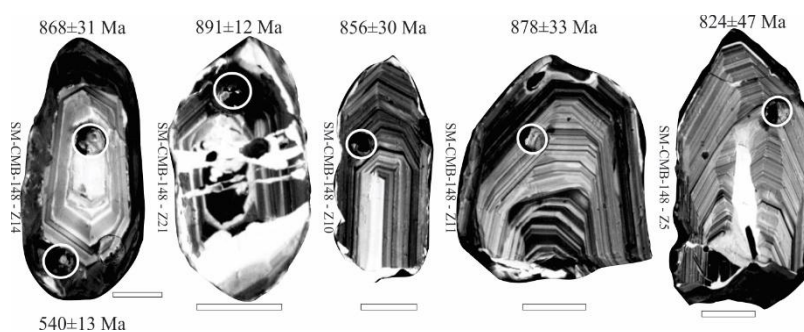
7.1.2.1 Unidade Euclidelândia

As amostras da unidade metassedimentar analisada foram coletadas ao longo de um *trend* NE a partir das proximidades de Euclidelândia. Duas são compostas por biotita paragnaisse com granada apresentando bandamento migmatítico e pouco intemperizada (SM-CMB-148 - Figura 16 a, SMM-CMM-156). A terceira é representada por muscovita biotita xisto/gnaisse com granada intemperizado (CA-R-03 - Figura 16 b).

As amostras da unidade Euclidelândia forneceram grãos de zircão de tamanhos e formas semelhantes. Seus grãos apresentam cor amarelada, brilho vítreo, são translúcidos, têm hábito prismático com relação *c/l* da ordem de 2:1 e 3:1, tamanho entre 100 μm e 150 μm de comprimento e são ocasionalmente fraturados e quebrados.

A estrutura interna dos grãos apresenta típicos núcleos ígneos com crescimento oscilatório e bordas de sobrecrecimento metamórfico (Figura 42).

Figura 42 - Imagem CL de grãos de zircão da Unidade Euclidelândia mostrando núcleo ígneo com zoneamento oscilatório e bordas de sobrecrecimento metamórfico.

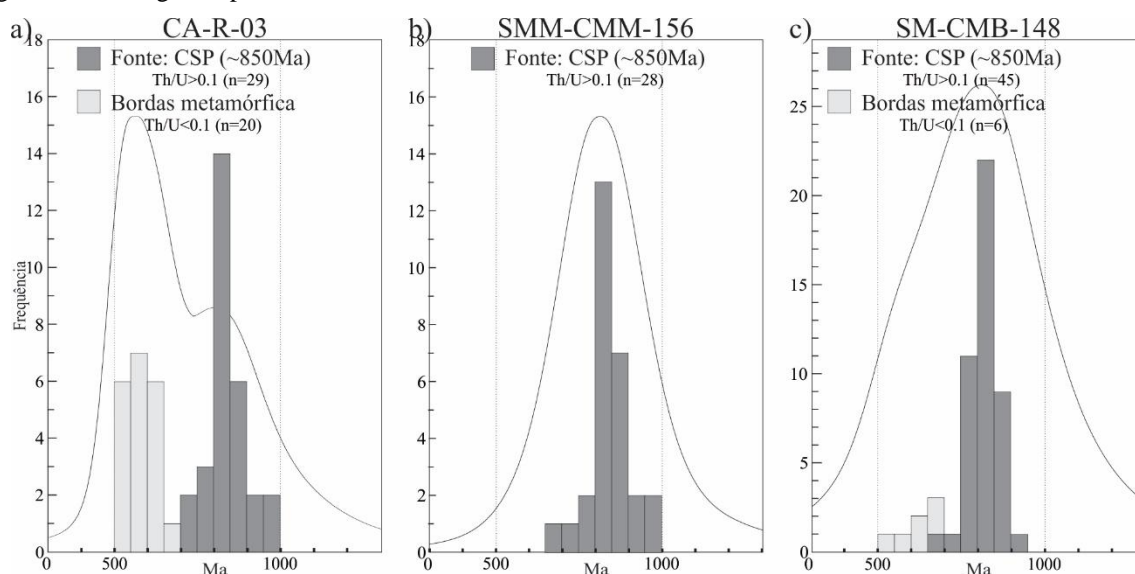


Nota: Escala em barra equivale ao tamanho de 50 μm .

Fonte: A autora, 2018.

O histograma gerado (Figura 43) para as três amostras desta unidade indica uma maior concentração de idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ entre 800 e 850 Ma extraída a partir de núcleos ígneos de grãos de zircão com razão Th/U maior que 0.1. Esses dados convergem para as rochas do CSP como principal fonte de sedimentos para a unidade Euclidelândia.

Figura 43 - Histograma para amostras da Unidade Euclidelândia.



Legenda: Histograma das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para a amostra CA-R-03 (a), SMM-CMM-156 (b) e SM-CMB-148 (c). Dados numéricos – vide Tabelas 20 a 22 (APÊNDICE G).

Fonte: A autora, 2018.

As concentrações de grãos de zircão com idades entre ~500 Ma e ~700 Ma (Figura 43 a,c) são idades de borda metamórfica ($\text{Th}/\text{U} < 0.1$) e compreendem o intervalo definido para o metamorfismo/migmatização desta unidade bem como das demais unidades deste domínio.

O registro de idades em torno de 650 – 750 Ma, a partir de núcleo ígneos com razão Th/U maior que 0.1, são observados apenas nas duas amostras migmatíticas (Figura 43 b,c). Isso seria o reflexo da migmatização contemporânea à intrusão do magma arco RN que gerou instabilidade termobarométrica em todo o Domínio Italva.

Assim, considerando o fato de a unidade Euclidelândia ser migmatítica bem como o maior volume relativo de idades em torno de 850 Ma, pode-se considerar o arco SP como fonte exclusiva desta unidade.