

9 RESULTADOS DAS RESTAURAÇÕES ESTRUTURAIS

9.1 Restauração de Múltipla Seções

As cinco seções geológicas em profundidades (Figura 57) foram interpretadas, para a restauração em múltiplas seções, a fim de ilustrar uma visão simultânea da evolução cinemática da área em um ambiente próximo ao 3D (Figura 58).

As sequências que compreendem o intervalo de topo do Neocretáceo (65 Ma) até o recente (0 Ma), foram apenas descompactadas. Do intervalo de idade entre o Intra-Neocretaceo (86 Ma) até o topo do Sal (112 Ma), a distensão horizontal total variou de 0,45 km na seção 1 até 1,64 km na seção 3, com taxas de extensão em tempo variando entre 17,31 a 63,08 m/Ma (Tabela 1).

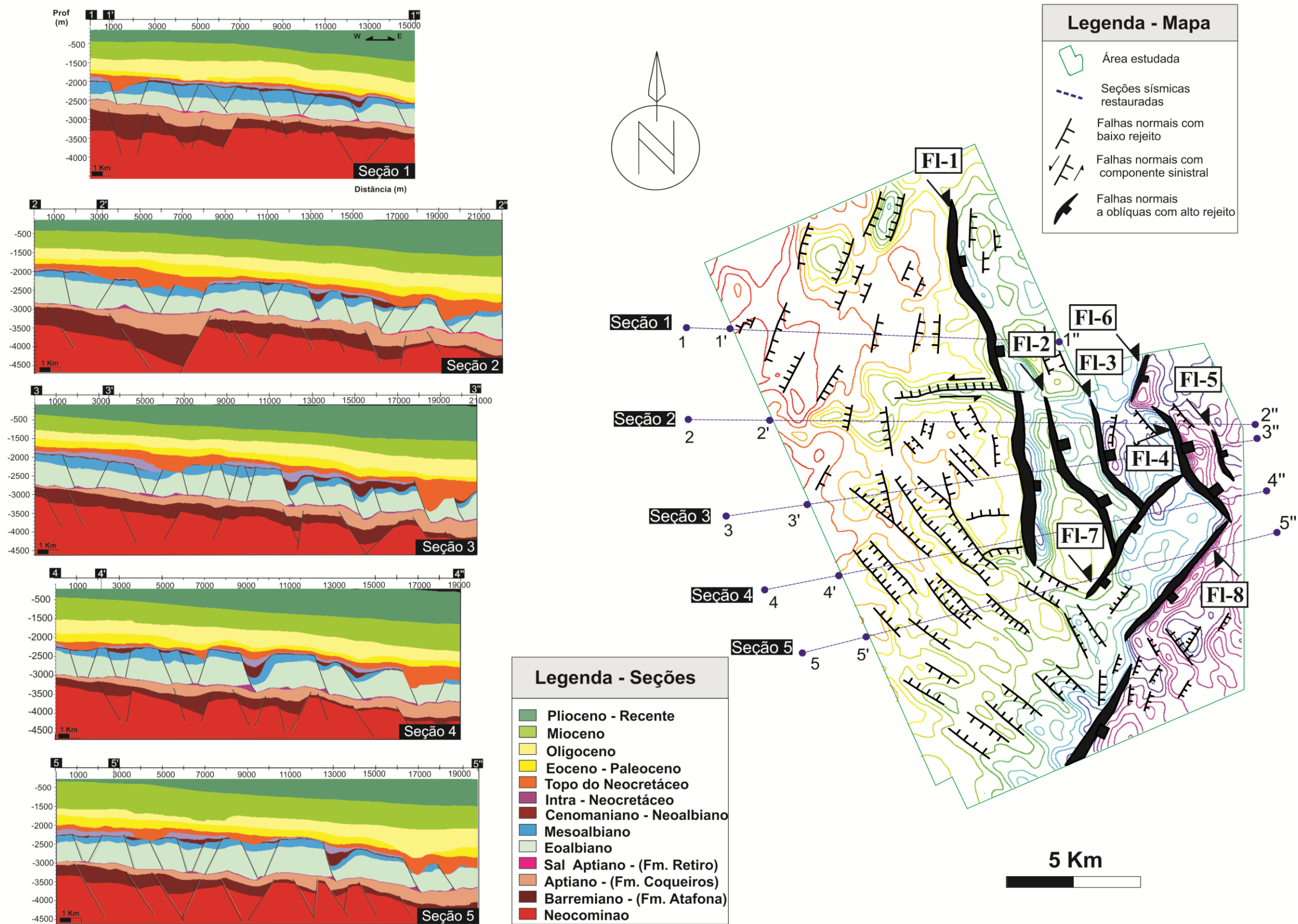
Tabela 1 - Extensão total horizontal e taxa de extensão por idade em cada seção no intervalo entre o Intra-Neocretaceo e o topo do Sal

Seção	Comprimento deformado (Km)	Extensão horizontal total (Km)	Taxa de extensão em tempo (m/Ma)
1	15,29	0,45	17,31
2	22,02	1,27	48,85
3	20,93	1,64	63,08
4	19,19	1,37	52,69
5	19,82	1,13	43,46
Média	-	1,17	45,00

Fonte: O autor, 2017

A alongação desde o Albiano até o recente, para as 5 seções restauradas é ilustrada como exemplo em multiseção na figura 59, onde é possível notar que a parte central da área (seções 3 e 4) foi mais distendida que a circunvizinhança. As etapas de restauração na seção 3 são vistas em detalhe na figura 60 no Apêndice (figuras 70 a 74).

Figura 57 – Seções geológicas em profundidade selecionadas para a restauração



Fonte: O autor, 2017

Figura 58 – Sequência de restauração estrutural em múltiplas seções

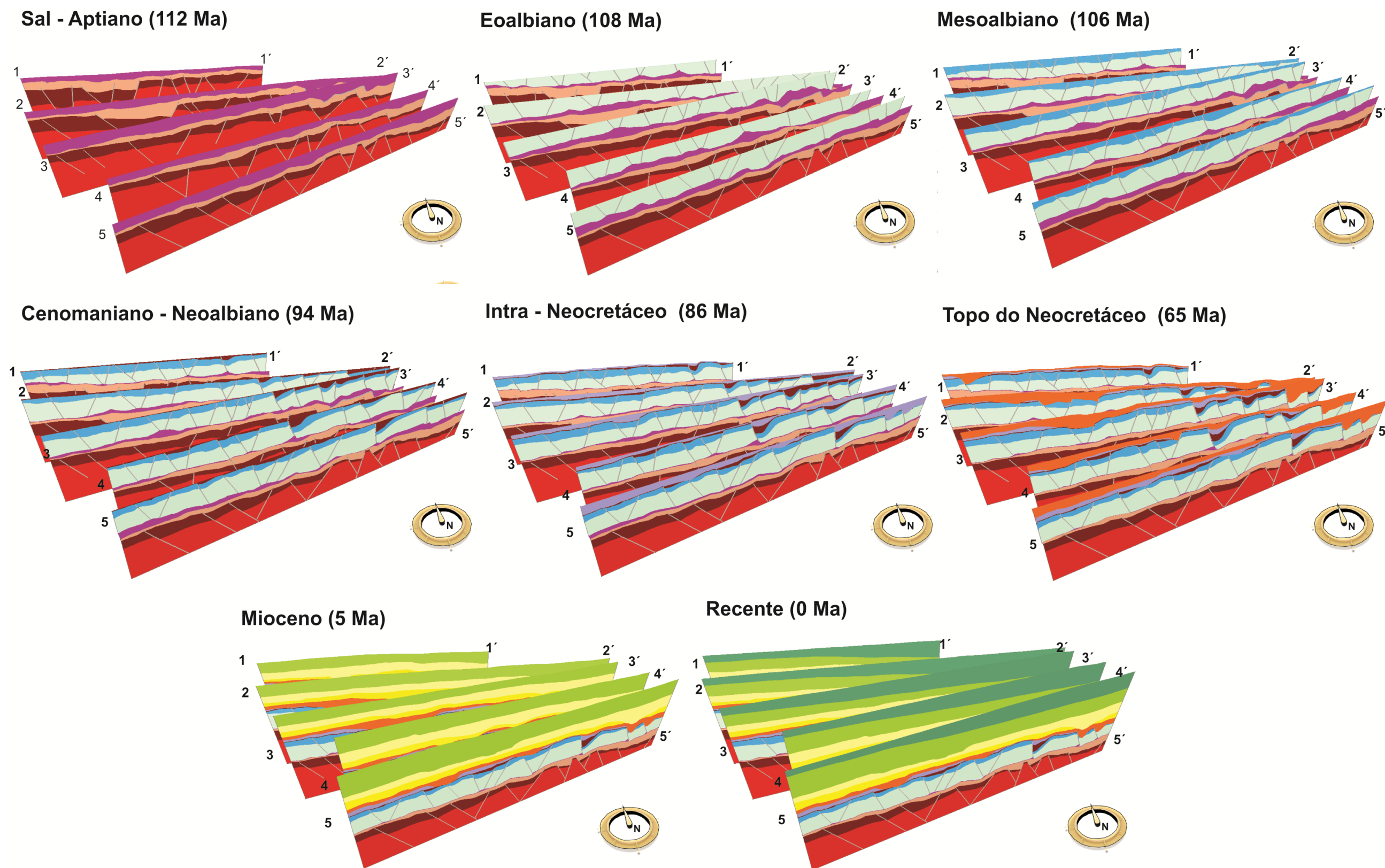
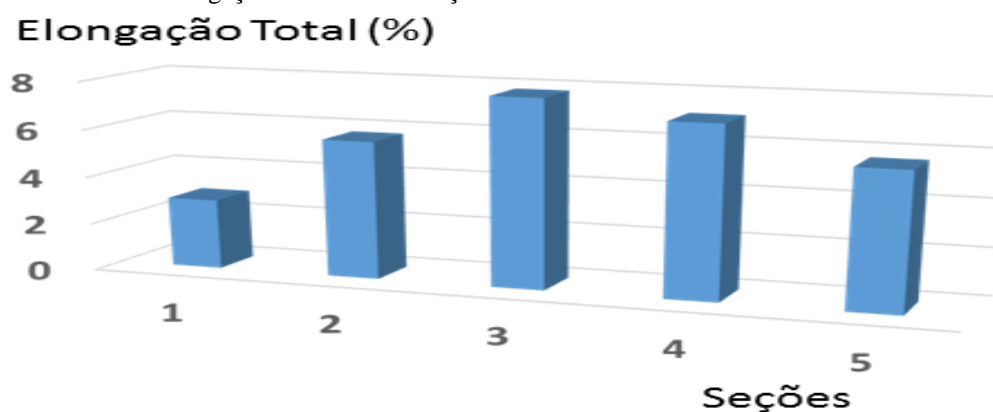


Figura 59 – Gráfico de alongação total em cada seção restaurada



Fonte: O autor, 2017

A Sequência Aptiana Evaporítica (112-113 Ma)

Durante o Aptiano, o topo do sal não tem sobrecarga, sendo reconstituído para um relevo estrutural plano com gradiente batimétrico menor que 1%, e sem ondulações (Figura60).

A área final e a espessura média do sal por seção do sal é vista na tabela 2. Ela mostra que nas seções 3 e 5 encontra-se as maiores áreas de sal restauradas, e isso pode ser resposta das posições das seções que cortam os maiores rejeitos das falhas lítricas, como pode ser visto na figura 60.

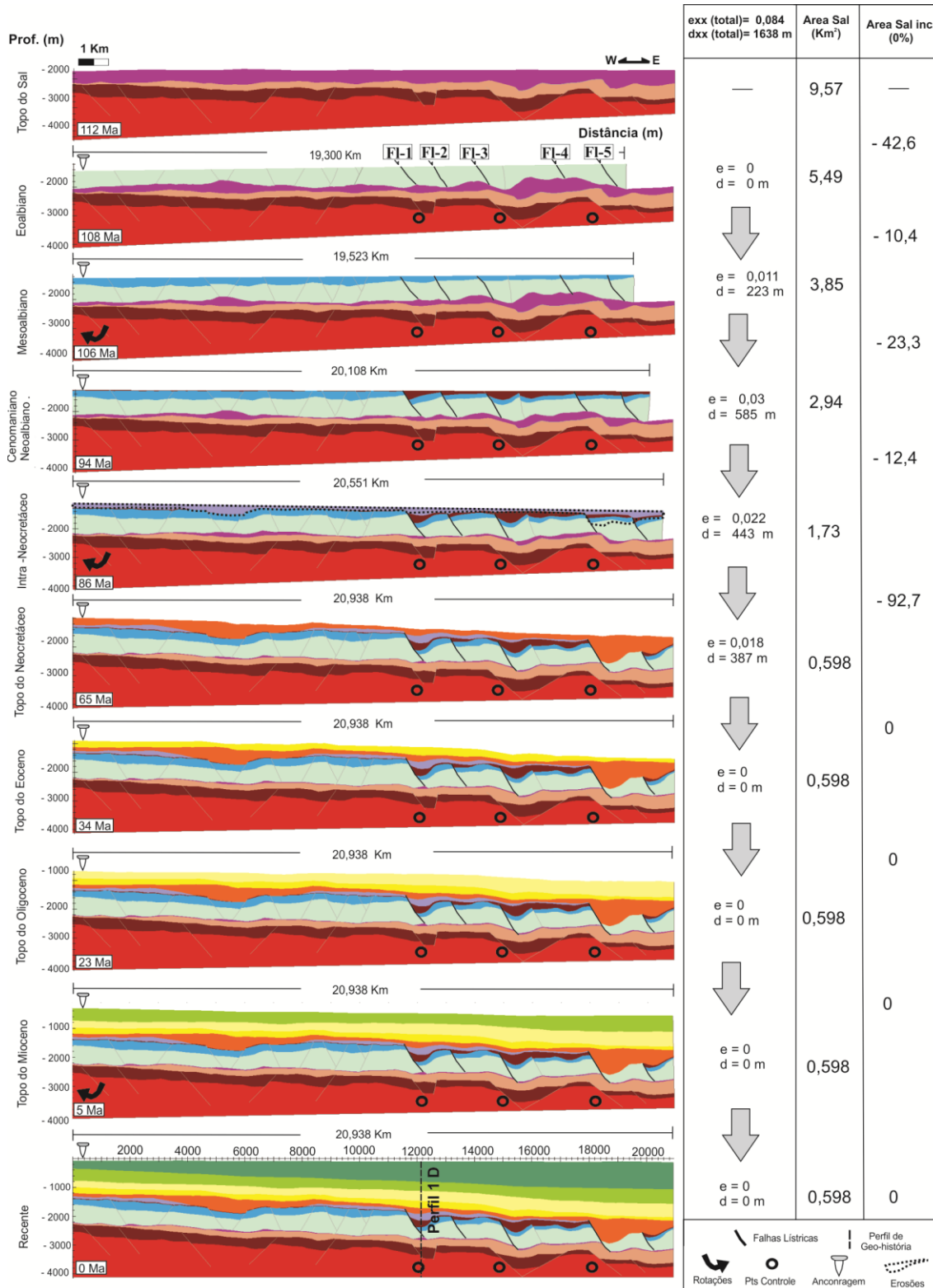
Na tabela 3 pode-se ver a evolução da diminuição da área do sal da sequência mais antiga para o recente. A partir do topo do Neocretáceo, a área do sal é aproximadamente constante, os maiores picos de saída do sal foram durante o intervalo do topo do Neocretáceo e na idade albiano inferior (Figura 61). A taxa de sedimentação para este intervalo foi de cerca de 349 m/Ma.

Tabela 2 - Área do sal restaurada final e sua espessura média em cada seção

Seção	Área do sal restaurado em seção (Km²)	Espessura média do sal (m)
1	3,71	242
2	6,50	295
3	9,57	457
4	6,30	328
5	8,54	426

Fonte: O autor, 2017

Figura 60. – Etapas da restauração estrutural para a seção 3.



Legenda: Seta cinza indica a direção da deformação. Nota: e = alongação horizontal, d = deslocamento horizontal por etapa. As setas apontam para pontos de referência no embasamento. FL são falhas lísticas. Sem exagero vertical. Nota: para a localização da seção vide figura 57.
 Fonte: O autor, 2017

Tabela 3 - Área média do sal e a sua taxa de incremento por etapas

Intervalos	Área média do sal em seção (Km²)	Incremento (%)
Sal	6,91	
Eoalbiano	4,27	-38,17
Mesoalbiano	3,27	-24,87
Ceno-Neoalbiano	2,26	-29,55
Intra-Neocret.	1,14	-37,51
Topo do Neocret.	0,48	-66,01
Eoceno	0,48	0
Oligoceno	0,48	0
Mioceno	0,48	0
Recente	0,48	0

Fonte: O autor, 2017

Intervalo Eoalbiano-Mesoalbiano (112-106 Ma)

Nessa época uma plataforma carbonática espessa, com cerca de 750 a 850 metros, migra sobre o sal vinda de um ambiente de borda de plataforma para um ambiente de talude em direção a leste-sudeste da área. Os valores de alongação e deslocamento horizontal (0,011 e 224m) estão restritos a parte superior (Mesoalbiano) o que restringe o intervalo Eoalbiano a uma condição relativamente estável da plataforma nessa época. Essa característica confere as rochas um caráter pré a cedo-cinemático, com deformações restritas a pequenas almofadas de sal, formadas abaixo de *grabens* e em estruturas de sal tipo *roller*, mas suficientes para controlar as fácies e espessuras sedimentares no intervalo superior (Figuras 56A e 56B).

A taxa média de estiramento horizontal é de aproximadamente de 37 m/Ma.

Cenomaniano-Neoalbiano (106-94 Ma)

Este intervalo possui um registro sedimentar muito pequeno, em torno de dezenas de metros na área, porém pode atingir, junto às falhas lítricas, expressivos crescimentos na ordem de centenas de metros.

Esse intervalo representa a época da principal movimentação de sal, com formação de antiformais abertos na plataforma semirrígida, bem como defini os primeiros blocos de pre-rafts e falhas lítricas (F1-1 a F1-5 na figura 60).

Para a restauração deste intervalo foi necessária a sua reconstrução, devido a erosões de idade Neocretácea. Os índices médios de alongação na horizontal da sequência são respectivamente de 0,021 e de 400m para o deslocamento horizontal. Estes valores representam o pico de deformação do pós sal durante a tectônica *raft* na região de estudo (figura 61).

A taxa de extensão média horizontal para este intervalo é de aproximadamente 33 m/Ma.

Neocretáceo - Grupo Campos (94 -65 Ma).

Este intervalo marca o afogamento da plataforma carbonática e início da sedimentação pelágica com pulsos de entrada de areias turbidíticas, que escavaram variavelmente a plataforma carbonática. A atividade das falhas lítricas em resposta a sobrecarga sedimentar ativou um sistema retroalimentado de esforços verticais sobre um substrato inclinado ($\pm 2^\circ$) amplificando as movimentações de sal.

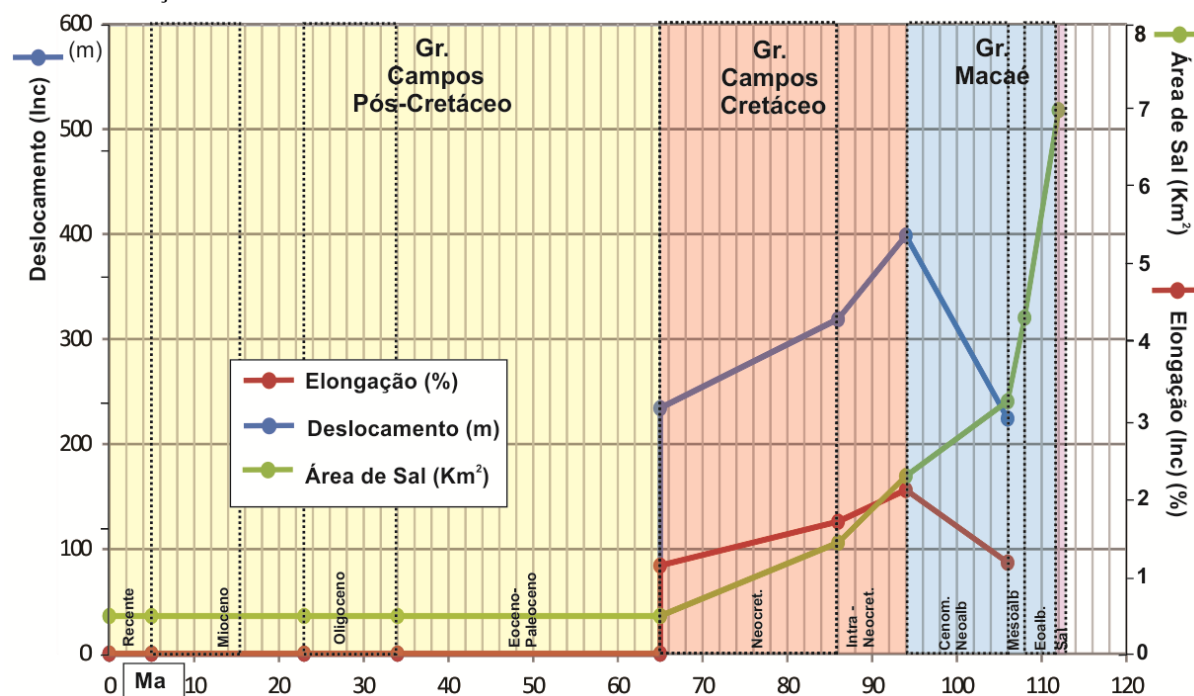
O controle das espessuras sedimentares no interior dos *grabens* diminuiu em relação ao intervalo Cenomaniano-Neoalbiano, e nota-se o maior espessamento das sequencias depositadas nesse intervalo nos baixos estruturais do extremo leste da área (Figura 60), em direção a parte profunda da bacia, podendo ser resultado de um grande basculamento na bacia.

Os valores médios de alongação e deslocamento horizontal, concentradas principalmente pelas atividades das falhas lítricas neste período, são de 0,028 e 552 m, respectivamente. A taxa de extensão média horizontal para este intervalo é de aproximadamente 19 m/Ma.

No Neocretáceo provavelmente ocorreu o pico da fuga das camadas de sal na área (figura 61), marcando também a conformação final das estruturas antiformais na plataforma e pré rafts. O fim da movimentação salífera provavelmente aconteceu no final deste intervalo, quando os remanescentes das camadas de sal foram aprisionados no núcleo de anticlinais

formados nos blocos altos das falhas lítricas e na parte baixa dos *grabens*. Alguns locais abaixo dos sedimentos retiveram delgadas camadas que conformam as cicatrizes de sal.

Figura 61 – Redução da área de sal (em seção) e taxas médias de incremento de deslocamento e alongação das seções.



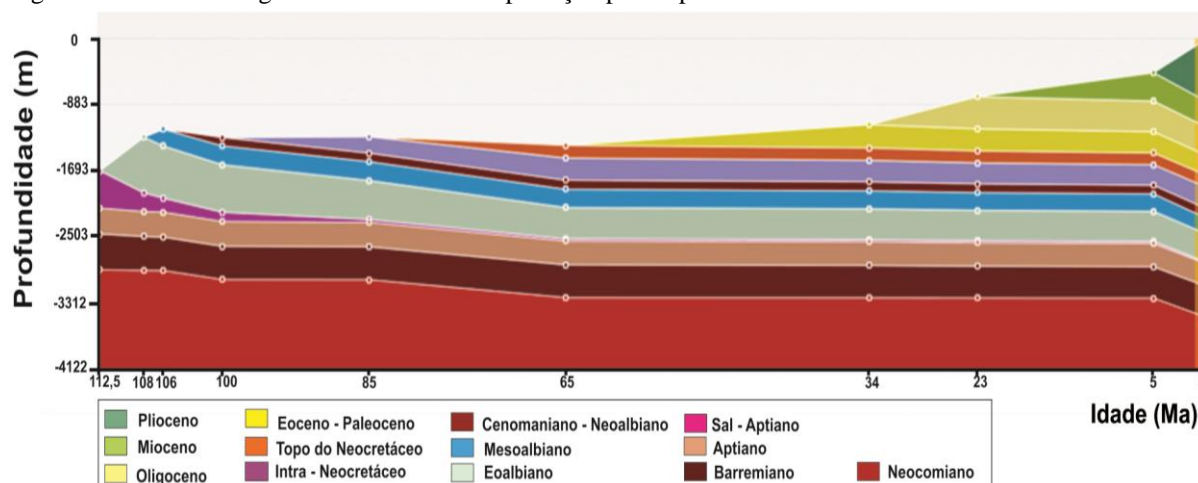
Fonte: O autor, 2017

Gráfico de geo-história de descompactação

A análise da geo-história (Figura 62) tem como objetivo a representação gráfica 1D de movimentos verticais de um horizonte estratigráfico, permitindo quantificar a descompactação vertical desde a época de sedimentação. A disposição sub-horizontal das camadas no gráfico de geo-história da área indica a pouca variação vertical ao longo do tempo. Pequenas variações de subsidência relacionada apenas a descompactação e rotação das seções foram causadas principalmente por pequenos basculamentos da bacia, ocorridos no Mesoalbiano (106 Ma), Neocretáceo (85 Ma) e no Mioceno (5 Ma).

Partindo da espessura inicial do sal nas seções restauradas é possível estimar as variações desde a época de deposição (112 Ma) até o presente. Nota-se que o aprisionamento das massas de sal com manutenção de espessura provavelmente aconteceu em 85 Ma, desde então as espessuras parecem ter se mantido constantes.

Figura 62 – Gráfico de geo-história de descompactação para o perfil 1D.



Legenda: Localização do perfil 1D vide figura 52

Fonte: O autor, 2017

9.2 Restauração Palinspática em Mapa

O horizonte topo do Cenomaniano-Neolbiano foi restaurado a partir dos movimentos de 15 blocos falhados. O melhor arranjo dos blocos para alcançar o ajuste, com o menor erro, foi obtido com um aumento de 329 Km² para 338 Km² entre o cenário não deformado e deformado (Figura 63B e 63A), respectivamente. Em termos percentuais houve uma variação de área de 3% a mais no mapa restaurado. As distorções dos blocos foram maiores na porção central da área (seções 2 a 4 da Tabela 4), onde predominam as falhas lítricas. As menores dilatações concentraram-se nas seções 1 e 5 que cortam transversalmente as falhas que possuem os menores rejeitos.

O processo de restauração gerou várias sobreposições de área como, por exemplo, nos limites entre os blocos 1 e 7 e entre os blocos 15 e 8. Entre os blocos de 10 a 14 e o 3 e 4 formaram-se vazios. Estes resultados que ocorreram de lacunas e interposições podem ser atribuídas tanto as deformações internas dos blocos quanto a inconsistências na interpretação sísmica.

O uso de pontos referenciais nos blocos falhados permitiu o rastreamento dos movimentos utilizado para a definição de vetores de deslocamento. No mapa de rejeitos finitos do topo do Cenomaniano-Neolbiano (Figura 64A) é possível identificar diferentes

trajetórias do deslocamento horizontal. Notar que o comprimento das setas indica a quantidade de movimento acumulado dos blocos para a restauração.

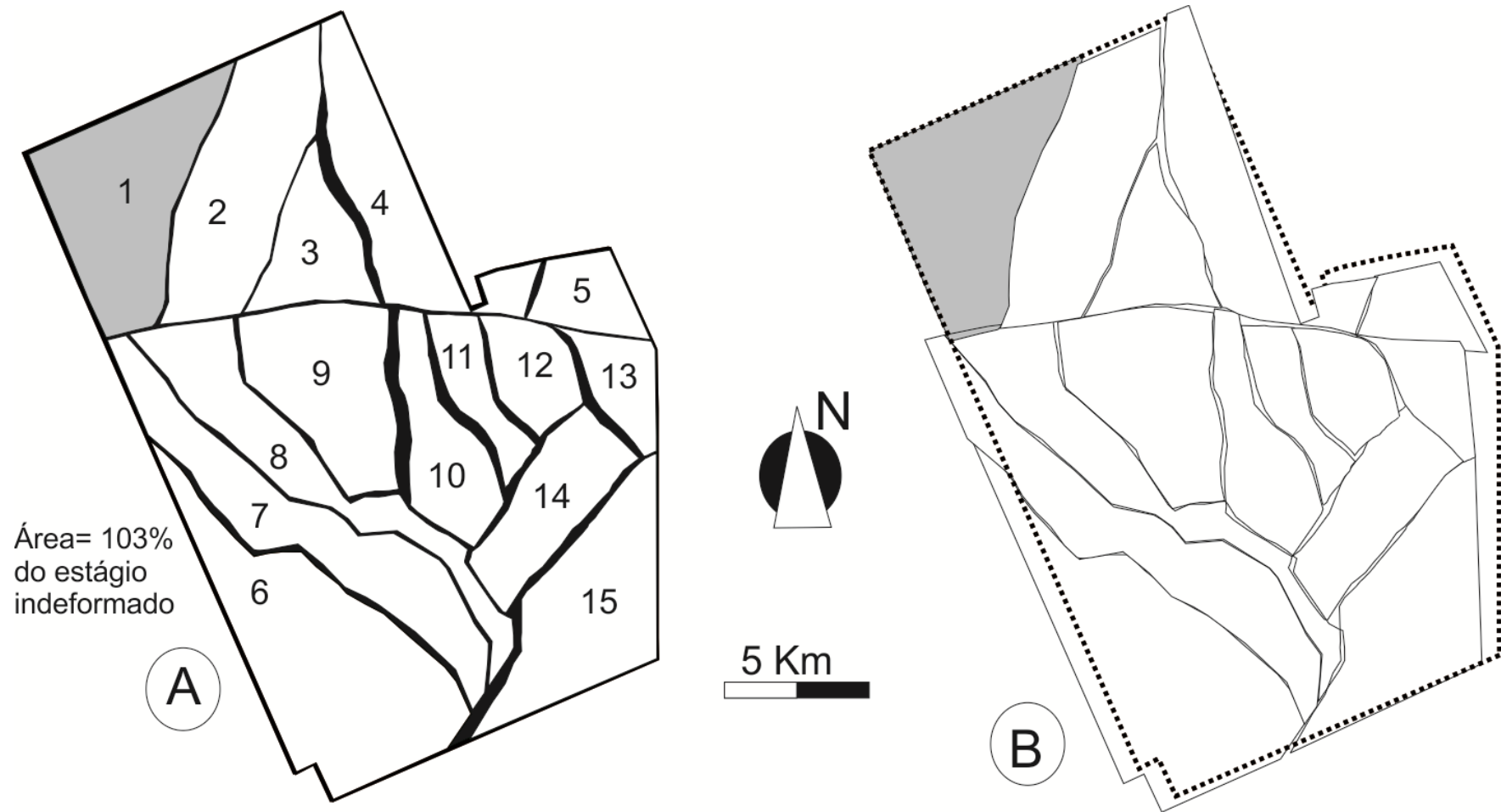
Tabela 4 - Dilatação nas seções do horizonte de topo do Cenomaniano – Neoalbiano

Seção	Comprimento indeformado (Km)	Comprimento deformado (Km)	Dilatação (%)
1	14,64	15,29	4,3
2	20,64	22,02	6,3
3	19,59	20,93	6,4
4	18,00	19,19	6,2
5	18,89	19,82	4,7

Fonte: O autor, 2017

Na área norte o sentido dos vetores varia de Leste-Oeste para nordeste na direção de movimentação dos blocos. Nas áreas central e sudoeste a direção é predominantemente para Leste-Oeste, porém os vetores infletem para sudeste (nas área leste e sudeste), indicando uma provável rotação horária. Esta inflexão indica claramente um padrão de deslocamento radial e divergente das movimentações halocinéticas. Analisando o mapa de rotações na figura 64B, os ângulos de rotações dos blocos são bem pequenos (maior parte entre - 0,5 e 3°), sendo que os blocos limitados pelas falhas lítricas, foram os mais rotacionados, efeito este provavelmente causado pelos *rollovers* das camadas da capa contra a falha lítrica.

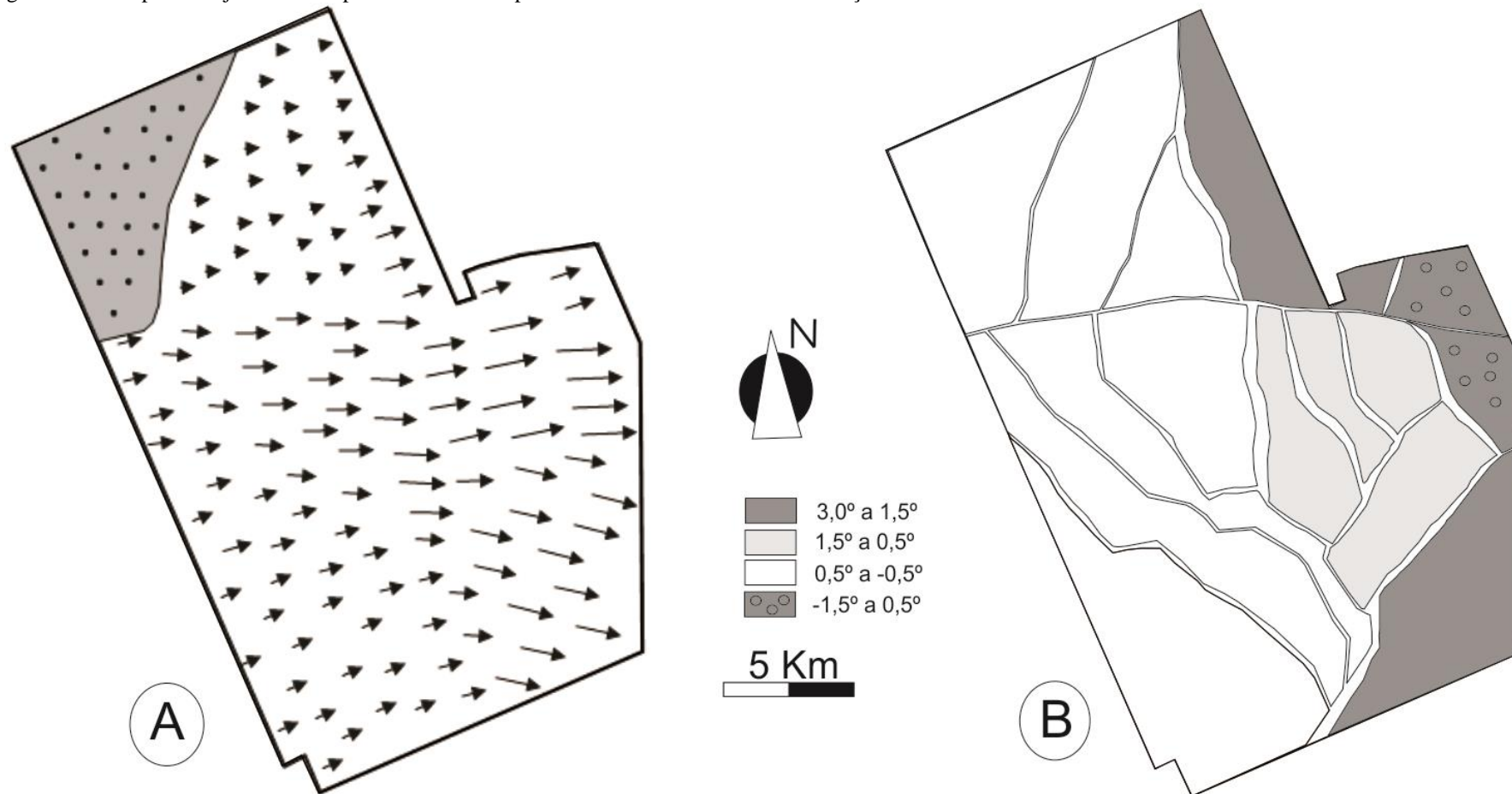
Figura 63 – Mapas de blocos de falhas do horizonte de topo do Cenomaniano-Neoalbiano.



Legenda: A) estado atual B) estado restaurado. Na cor cinza é o bloco estacionário. Blocos não preenchidos foram agrupados entre si e contra o bloco estacionário na tentativa de minimizar ou eliminar os espaços vazios e os rejeitos horizontais. Linha tracejada no mapa restaurado (B) mostra o limite do horizonte no estado atual.

Fonte: O autor, 2017

Figura 64 – Campos de rejeitos finitos para o horizonte topo Cenomaniano - Neoalbiano e rotações finitas de cada bloco.



Legenda: Em A) cada vetor mostra a distância entre os pontos dos estados deformados e indeformados. E em B) Campo de rotações finitas com a rotação horizontal de cada bloco. Valores positivos representam rotação no sentido horário da parte deformada para a indeformada e cada cor representa a magnitude da rotação.

Fonte: O autor, 2017