



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**FORMAS, PROCESSOS E MATERIAIS: UMA PROPOSTA DE EVOLUÇÃO  
GEOMORFOLÓGICA MULTIESCALAR DA BORDA MERIDIONAL DO  
CARSTE DE LAGOA SANTA, EM VESPASIANO, MINAS GERAIS**

*RENATA JORDAN HENRIQUES*

Belo Horizonte  
2017

*RENATA JORDAN HENRIQUES*

**FORMAS, PROCESSOS E MATERIAIS: UMA PROPOSTA DE EVOLUÇÃO  
GEOMORFOLÓGICA MULTIESCALAR DA BORDA MERIDIONAL DO  
CARSTE DE LAGOA SANTA, EM VESPASIANO, MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Geomorfologia

Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Valadão

Belo Horizonte  
Instituto de Geociências  
Universidade Federal de Minas Gerais  
2017

H519f 2017    Henriques, Renata Jordan.  
Formas, processos e materiais [manuscrito] : uma proposta de evolução geomorfológica multiescalar da borda meridional do Carste de Lagoa Santa, em Vespasiano, Minas Gerais / Renata Jordan Henriques. – 2017.

172 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Roberto Célio Valadão.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2017.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Linha de pesquisa: Geomorfologia.

Bibliografia: f. 166-172.

1. Geomorfologia – Minas Gerais – Teses. 2. Solos – Formação – Minas Gerais – Teses. 3. Carste – Minas Gerais – Teses. 4. Geografia do solo – Teses. I. Valadão, Roberto Célio. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 551.4(815.1)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



## FOLHA DE APROVAÇÃO

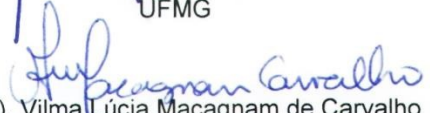
**FORMAS, PROCESSOS E MATERIAIS: UMA PROPOSTA DE EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA MULTIESCALAR DA BORDA MERIDIONAL DO CARSTE DE LAGOA SANTA, EM VESPASIANO, MINAS GERAIS**

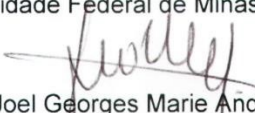
**RENATA JORDAN HENRIQUES**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 15 de dezembro de 2017, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof(a). Roberto Célio Valadão - Orientador  
UFMG

  
Prof(a). Vilma Lúcia Macagnan de Carvalho  
Universidade Federal de Minas Gerais

  
Prof(a). Joel Georges Marie Andre Rodet  
Université de Rouen

  
Prof(a). João Herbert Moreira Viana  
Embrapa

Belo Horizonte, 15 de dezembro de 2017.

## **AGRADECIMENTOS**

A investigação de um trabalho científico raramente é executada sem o auxílio, diálogo e apoio de colegas e institutos. Cabe agradecer àqueles que de alguma contribuíram ao caminhar deste estudo.

Ao professor Roberto Valadão pela orientação da pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado nº 130655/2016-3, que possibilitou a condução da pesquisa de maneira integral;

À minha mãe Selma e aos colegas de mestrado Matheus Armond, Roberta Parreira, Davi Lopes e Gladson de Oliveira pelo auxílio fundamental em campo;

Aos pesquisadores João Herbert da EMBRAPA/Sete Lagoas e Joël Rodet da Universidade de Rouen/França pelas discussões essenciais sobre o carste de Lagoa Santa e suas margens. Ao doutorando Henrique Machado pelas conversas sobre couraças e seus tempos.

Ao Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia da UFMG na pessoa do técnico Fernando César pelas análises de pH, granulometria, matéria orgânica e ataque sulfúrico;

Ao Laboratório de difração e fluorescência de raio-X do Centro de Pesquisa Manuel Teixeira da Costa (CPMTC - UFMG), na pessoa da técnica Kácia Monteiro, pelo auxílio nas análises mineralógicas;

Aos professores do Departamento de Geografia da UFMG Fábio Soares, Allaoua Saadi e à Tânia Dussin do Departamento de Geologia (UFMG) pelo auxílio às discussões do trabalho;

À professora Giovanna Parizzi do Departamento de Geologia (UFMG) pelo empréstimo de lupa trinocular para a análise de morfoscopia de areias;

Aos demais amigos(as), colegas de graduação e de pós-graduação que apoiaram e incentivaram o andamento desta pesquisa.

***Agradeço***

***À ciência ...***

## RESUMO

A superfície terrestre é objeto de investigação na Geomorfologia mediante tentativas de se compreender as formas de relevo, seus materiais e os processos que as esculturam ao longo de múltiplas escalas espaço-temporais. Esta pesquisa foi estruturada a partir de observações sobre as coberturas pedológicas situadas na transição entre duas diferentes unidades geotectônicas em Minas Gerais, isto é, a bacia sedimentar do Grupo Bambuí, que arquiteta o carste de Lagoa Santa, e o escudo cristalino exumado de Belo Horizonte. A área de estudo deste trabalho corresponde à bacia hidrográfica do córrego Sujo, localizada no município de Vespasiano acerca de 15 km ao norte da capital Belo Horizonte. Este córrego é um afluente do ribeirão da Mata que, por sua vez, deságua no rio das Velhas. A principal questão que norteia esta pesquisa é: qual o significado geomorfológico da recorrência de concentrações de fragmentos grossos de quartzos subarredondados a subangulosos encontrados nas coberturas pedológicas da bacia hidrográfica do córrego Sujo? Para essa resposta, foram seguidos procedimentos metodológicos que compreenderam etapas de campo, gabinete, laboratório e geoprocessamento, que auxiliassem a interpretar e atribuir significados a esses materiais. O desenvolvimento desta pesquisa ainda esbarrou na lida com múltiplas escalas de abordagem que tangenciaram perspectivas regionais até locais, sobretudo, na análise de outros componentes como a rede hidrográfica e o arcabouço geológico. Para as interpretações foi concluído que essas coberturas possuem filiação alóctone, o qual resguardam testemunhos de diferentes momentos na história de evolução morfogenética da área investigada. Portanto, foram formuladas duas propostas de modelos que reconstituem um passado evolutivo que tenha estruturado os materiais investigados. Um primeiro modelo traduz uma abordagem relativamente regional, e envolve a estruturação do atual perímetro da bacia do córrego Sujo e de suas coberturas pedológicas. O segundo, por sua vez, trata sobre a gênese e evolução de materiais que compõem uma seção representativa dessas coberturas e seus fragmentos grossos de quartzos, isto é, envolve uma perspectiva de análise escalar relativamente local. Ainda que as escalas sejam diferentes, os resultados de ambos os modelos refletem uma relativa coerência entre os fenômenos abordados, ainda que possuíssem diferentes abordagens na escala de investigação. Notadamente, os modelos indicaram que houve diferentes balanços de energia morfodinâmicas, sendo condicionadas por diferentes níveis de base, reajustes crustais intercontinentais e reorganizações hidrológicas que interferiram, por sua vez, na maneira como as formas do relevo foram modeladas e suas coberturas pedológicas estruturadas.

**Palavras-chave:** Geomorfologia; Cobertura pedológica; Morfogênese

## ABSTRACT

The earth's surface is the object of investigation in Geomorphology through attempts to understand the relief forms, their materials and the processes that sculpture them along multiple spatio-temporal scales. This research was structured from observations about the surface coverings located in the transition between two different geotectonic units in Minas Gerais, that is, the sedimentary basin of the Bambuí Group that structures the karst of Lagoa Santa and the crystalline exhumed shield of Belo Horizonte. The spatial distribution of this work corresponds the area of the Sujo stream basin located in the municipality of Vespasiano, about 15km north of the capital Belo Horizonte. This stream is a tributary of the Da Mata stream, which, in turn, flows to the river of the Velhas. The main question guiding this research is: what is the geomorphological significance of the recurrence of concentrations of coarse fragments of subround and subangular quartz found in the unconsolidated covers in the domain of this drainage basin? For this response, the methodological procedures involved fieldwork, cabinet, laboratory and geoprocessing to help interpret and assign meanings for these materials. The development of this research still used the multiple scales of approach that have shifted from regional to local perspectives, especially in the analysis of other components such as the hydrographic network and the geological framework that provide coherent answers on the superficial coverages. The interpretations on the data produced by these various procedures concluded that these coverings have allochthonous affiliations which bear testimonies of different moments in the history of morphogenetic evolution of the investigated area. Therefore, two model proposals were formulated that reconstitute an evolutionary past that structured the investigated materials. The first model reflects a relatively regional approach and involves the structuring of the current perimeter of the dirty stream basin and the evolutionary path of its surface coverings. The second model, on the other hand, deals with the genesis and evolution of materials that make up the single representative section of these covers and their thick fragments of quartz, that is, it involves a relatively local scalar perspective. Although the scales are different, the results of both models reflect relative coherence between the phenomena addressed, although they had different approaches in the scale of investigation. Notably, the models indicated that there were different morphodynamic energy balances, being conditioned by different base levels, intercontinental crustal readjustments and hydrological reorganizations, which in turn interfered with the way relief forms were modeled and their surface coverings were structured.

**Keywords:** Geomorphology; Pedological cover; Morphogenesis



## RÉSUMÉ

La surface de la Terre est l'objet d'investigation en géomorphologie à travers les tentatives pour comprendre les formes du relief, de leurs matériaux, et les processus qui les ont sculptés selon de multiples échelles spatio-temporelles. Cette recherche a été structurée à partir d'observations de la couverture du sol située dans la transition entre deux unités géotectoniques différentes dans Minas Gerais, qui est, le bassin sédimentaire du groupe Bambuí, qui architecte le Lagoa Santa Karst, et le bouclier cristallin exhumé de Belo Horizonte. La zone d'étude de ce travail correspond à la bassin du ruisseau Sujo, situé dans la municipalité de Vespasiano à environ 15 km au nord de la capitale Belo Horizonte. Ce cours d'eau est un affluent du ruisseau Da Mata qui, à son tour, coule vers la rivière des Velhas. La principale question qui guide cette recherche est: quel est le sens géomorphologique de la récurrence des fragments grossiers concentrations du quartz subangulaire et subarrondies trouvé dans les couvertures du sol dans le domaine de ce bassin du ruisseau Sujo ? Pour cette réponse, les procédures méthodologiques comprenaient travail sur le terrain, d'archive, de laboratoire et de géotraitement pour aider à interpréter et assigner des significations pour ces matériaux. Le développement de cette recherche a également cogné dans les poignées de multiples échelles d'analyse, qui sont passées de perspectives régionales aux perspectives locales, surtout lorsqu'il s'agit de l'analyse de composantes tels que le réseau hydrographique et la géologie, ils peuvent fournir des réponses cohérentes sur des couvertures du sol. Les interprétations des données générées a conclu que ces couvertures ont des affiliations allochtones, qui qui portent des témoignages de différents moments dans l'histoire de l'évolution morphogénétique de la zone étudiée. Par conséquent, deux propositions de modèle ont été formulées qui reconstituent un passé évolutionnaire qui a structuré les matériaux étudiés. Un premier modèle traduit une approche relativement régionale et structuré le périmètre actuel du bassin du Sujo et les couvertures pédologiques. Le deuxième modèle, à son tour, traite de la genèse et l'évolution des matériaux qui composent une section représentative de ces couvertures et ses fragments épais de quartz, c'est-à-dire qu'elle implique une perspective d'échelle d'analyse relativement locale. Bien que les échelles soient différentes, les résultats des deux modèles reflètent une relative cohérence entre les phénomènes traités, bien qu'ils aient des approches différentes dans l'échelle d'investigation. Notamment, les modèles ont indiqué qu'il existait différents bilans énergétiques morphodynamiques, conditionnés par différents niveaux de base, des ajustements de la croûte terrestre intercontinentaux et les réorganisations hydrologiques qui, à son tour, ont interféré dans la manière dont les formes de soulagement ont été modélisées et leurs couvertures du sol structurées.

**Mots clés** : Géomorphologie ; Couverture pédologique ; Morphogenèse

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Localização da área investigada e pontos observados em campo. ....	18
<b>Figura 2:</b> Arcabouço geológico da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações. ....	19
<b>Figura 3:</b> Localização do domínio cárstico na região de Lagoa Santa, em Minas Gerais, em relação à bacia hidrográfica investigada. Baseado em Pessoa (2005). ....	20
<b>Figura 4:</b> Área investigada, em A envolve os estudos em âmbito regional, em B e C a escolha de uma seção lateral para escalas locais. ....	24
<b>Figura 5:</b> Estágios de desenvolvimento de materiais inconsolidados na superfície por meio da atuação do processo de intemperismo e posterior pedogênese. ....	28
<b>Figura 6:</b> Aloestratigrafia de sequências colúvio-aluviais na região do Bananal, divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. ....	29
<b>Figura 7:</b> Principais termos conceituais sobre materiais inconsolidados que integram e modelam a superfície terrestre. ....	31
<b>Figura 8:</b> Distribuição espacial de coberturas superficiais classificadas como Latossolo no território brasileiro e seus respectivos critérios taxonômicos. ....	33
<b>Figura 9:</b> Representação esquemática sobre organizações de <i>stonelines</i> em coberturas superficiais em zona clima intertropical. ....	34
<b>Figura 10:</b> Principais processos superficiais que podem elaborar <i>stonelines</i> . ....	36
<b>Figura 11:</b> Modelo de investigação sobre gênese e evolução de <i>stonelines</i> em ambiente intertropical. ....	37
<b>Figura 12:</b> Filtros operativos/ <i>modus operandi</i> do sujeito científico em relação ao seu fenômeno/objeto observado na superfície. ....	42
<b>Figura 13:</b> Localização da bacia hidrográfica do córrego Sujo. ....	51
<b>Figura 14:</b> Organização vertical de coberturas superficiais na área percorrida. ....	53
<b>Figura 15:</b> Representação esquemática sobre o comportamento hídrico geral intraperfil e resposta morfológica em seção vertical. ....	54
<b>Figura 16:</b> Aspectos das coberturas superficiais observadas em campo. ....	54
<b>Figura 17:</b> Organização lateral de algumas <i>stonelines</i> observadas em campo. ....	55
<b>Figura 18:</b> <i>Stonelines</i> morfológicamente semelhantes, que exibem diferenciada resistência de seus materiais constituintes. ....	56
<b>Figura 19:</b> Arcabouço geológico da bacia hidrográfica investigada e suas imediações. ....	58
<b>Figura 20:</b> Sequências de xisto carbonático sobre cálcio-filito carbonoso dobrado. ....	59
<b>Figura 21:</b> Afloramentos do Membro Lagoa Santa. ....	60
<b>Figura 22:</b> Aspecto geral dos metasiltilitos da Formação Serra de Santa Helena. ....	60
<b>Figura 23:</b> Sequências litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico da área percorrida e investigada. ....	61
<b>Figura 24:</b> Organização das formas de relevo na área investigada e entorno. ....	62
<b>Figura 25:</b> Vista a partir da Serra dos Ferradores para as menores altitudes da margem direita do ribeirão da Mata. ....	64

<b>Figura 26:</b> Indicadores de dissolução geoquímica condicionada pela organização litoestrutural de rochas carbonáticas da formação Sete Lagoas. ....	<b>65</b>
<b>Figura 27:</b> Esboço geomorfológico para a área percorrida em campo. ....	<b>66</b>
<b>Figura 28:</b> Climograma da estação do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. ....	<b>67</b>
<b>Figura 29:</b> Organização geomorfológica da área investigada e seu entorno. ....	<b>72</b>
<b>Figura 30:</b> Organização geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego Sujo. ....	<b>76</b>
<b>Figura 31:</b> Seção topográfica regional da bacia hidrográfica do córrego Sujo e respectivas coberturas superficiais identificadas. ....	<b>77</b>
<b>Figura 32:</b> Seção 1 que representa principalmente alteritas nas zonas de cabeceira da bacia do córrego Sujo. ....	<b>78</b>
<b>Figura 33:</b> Processos de movimentos gravitacionais de massa motivados pelo recorte de taludes ou pela abertura de loteamentos a partir de áreas de exumação de alteritas. ....	<b>79</b>
<b>Figura 34:</b> Seção 2, esta indica coberturas com significativo desenvolvimento pedológico. ....	<b>80</b>
<b>Figura 35:</b> Veio de quartzo alterado em talude na rodovia MG-010 na cabeceira da bacia investigada. Observou-se em campo que os fragmentos possuem arestas relativamente subarredondada. ....	<b>80</b>
<b>Figura 36:</b> Seção 3 que evidencia finas coberturas coluviais suportadas por alteritas do Membro Pedro Leopoldo. ....	<b>81</b>
<b>Figura 37:</b> Coberturas coluviais suportados por alteritas cujo contato apresenta alterações geoquímicas <i>in situ</i> . ....	<b>82</b>
<b>Figura 38:</b> Seção 4 que compreende cascalhos de quartzo em meio a uma matriz pedogeneizada. ....	<b>83</b>
<b>Figura 39:</b> Distribuição espacial dos cascalhos da Seção 4 às margens do córrego Carrancas. ....	<b>84</b>
<b>Figura 40:</b> Seção 5, que compreende colúvios com as maiores concentrações de fragmentos grossos de quartzo superiores a 20 cm de diâmetro. ....	<b>85</b>
<b>Figura 41:</b> Alterita do Membro Pedro nas imediações do córrego Carrancas. Em A e B indica-se a variabilidade de alteração geoquímica, em C o indicador sobre esforços compressivos regionais. ....	<b>86</b>
<b>Figura 42:</b> Seção 6 que representa colúvios posicionados diretamente sobre o complexo cristalino. ....	<b>87</b>
<b>Figura 43:</b> Seção 7 indica cascalhos coluviais que foram posteriormente incorporados a uma dinâmica fluvial nas imediações do córrego Sujo. ....	<b>88</b>
<b>Figura 44:</b> Organização de colúvios reorganizados por dinâmica fluvial com a presença de couraças ferruginosas provavelmente de temporalidade superior a que gerou os colúvios. ....	<b>89</b>
<b>Figura 45:</b> Exemplo de cascalhos com sinais de pedogênese <i>in situ</i> incipiente. ....	<b>90</b>
<b>Figura 46:</b> Seção 8 indica uma seção lateral de cascalhos aluviais de gênese inicial coluvial, sendo seus materiais com desenvolvimento pedogenético <i>in situ</i> . ....	<b>91</b>
<b>Figura 47:</b> Variabilidade da organização dos cascalhos de quartzo na Seção 8. ....	<b>91</b>
<b>Figura 48:</b> Precipitados de manganês nos cristais de quartzo. ....	<b>92</b>
<b>Figura 49:</b> Esta Seção 9 encontra-se às margens do ribeirão da Mata e possui materiais semelhantes encontrados na borda do Planalto de Confins. ....	<b>93</b>

<b>Figura 50:</b> Exemplo de materiais na borda do Planalto de Confins de composição semelhante à Seção 9. ....	<b>93</b>
<b>Figura 51:</b> Comparação entre cascalhos de quartzo encontrados no alto do Planalto de Confins (A e B) em relação àqueles encontrados na bacia do córrego Sujo (C e D).....	<b>94</b>
<b>Figura 52:</b> Comparação entre couraças ferruginosas presentes na bacia do córrego Sujo (A e C) e no alto do Planalto de Confins (B e D).....	<b>95</b>
<b>Figura 53:</b> Orientação geral do córrego Sujo em relação a sua bacia hidrográfica, bem como a indicação de seis seções topográficas transversais. ....	<b>97</b>
<b>Figura 54:</b> Representação espacial sobre a organização topográfica de cada transecto e respectivo talvegue drenado pelo atual córrego Sujo.....	<b>98</b>
<b>Figura 55:</b> Orientação geral do córrego Sujo na porção central de sua bacia hidrográfica, em relação a seus <i>knickpoints</i> de maior ruptura topográfica. ....	<b>99</b>
<b>Figura 56:</b> <i>Knickpoint</i> adjacente à Seção 8 que reflete em uma corredeira no córrego Sujo. ....	<b>99</b>
<b>Figura 57:</b> Área topograficamente plana de um afluente que deságua próximo ao principal <i>knickpoint</i> do córrego Sujo.....	<b>100</b>
<b>Figura 58:</b> Imagens comparativas entre 1967 e 2017 para a porção centro-montante da bacia.....	<b>101</b>
<b>Figura 59:</b> Organização da rede hidrográfica em 1983 e lineamentos de talvegues desconectados a canais de cursos d'água.....	<b>102</b>
<b>Figura 60:</b> Aspectos recorrentes de ambientes relativamente solapados e de águas calmas. ....	<b>103</b>
<b>Figura 61:</b> Representação de depressões fechadas correspondentes a dolinas sobre os carbonatos do Membro Lagoa Santa, sendo sua orientação semelhante à de um leito fluvial. ....	<b>104</b>
<b>Figura 62:</b> Modelo de representação esquemática sobre reativações pontuais de raízes de introdução criptocárstica mediante a reorganização superficial de uma rede hidrográfica mais recente.....	<b>105</b>
<b>Figura 63:</b> Orientação geral dos principais lineamentos de talvegues identificados na bacia hidrográfica do córrego Sujo.....	<b>106</b>
<b>Figura 64:</b> Modelo de evolução geomorfológica proposto sobre a morfogênese que edificou o atual perímetro da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações.....	<b>112</b>
<b>Figura 65:</b> Modelo hipotético do balanço entre formas endógenas e reorganizações hidrográficas responsáveis por arquitetarem o atual perímetro da bacia hidrográfica do córrego Sujo. ....	<b>114</b>
<b>Figura 66:</b> Localização da seção lateral investigada. ....	<b>118</b>
<b>Figura 67:</b> Organização dos materiais que compõem a seção investigada. ....	<b>119</b>
<b>Figura 68:</b> Mosaico de imagens compiladas do <i>Google Street View</i> que compreendem a extensão do talude analisado e a representação das seções amostradas para descrição e análise. ....	<b>121</b>
<b>Figura 69:</b> Procedimentos de análise granulométrica por meio da metodologia da pipeta.....	<b>125</b>
<b>Figura 70:</b> Organização dos procedimentos metodológicos para a morfoscopia de areias finas e grossas. ....	<b>128</b>
<b>Figura 71:</b> Leitura de amostras em pHmetro calibrado.....	<b>129</b>

<b>Figura 72:</b> Etapas de mensuração de carbono orgânico. ....	<b>130</b>
<b>Figura 73:</b> Etapas de extração do extrato e leitura dos elementos. ....	<b>132</b>
<b>Figura 74:</b> Organização pedológica dos materiais inconsolidados na seção investigada. ....	<b>134</b>
<b>Figura 75:</b> Organização morfológica dos fragmentos de quartzo e sua distribuição lateral.....	<b>136</b>
<b>Figura 76:</b> Precipitados de óxidos de manganês e ferro encontrados nos quartzos. ....	<b>137</b>
<b>Figura 77:</b> Perfil 3 que representa a diferenciação entre a porção superior e inferior em relação à cascalheira de quartzos.....	<b>138</b>
<b>Figura 78:</b> Perfil 2 que indica a principal representação de coberturas relativamente avermelhadas e de maior profundidade subsuperficial. ....	<b>141</b>
<b>Figura 79:</b> Perfil 1 que indica materiais alaranjados com forte contribuição pedogenética em sua estruturação, sendo os cascalhos aparentes em profundidade. ....	<b>142</b>
<b>Figura 80:</b> Distribuição granulométrica por horizonte identificado, sua relação silte/argila e composição mineral. ....	<b>144</b>
<b>Figura 81:</b> Diagrama textural que indica a variabilidade na distribuição granulométrica. ...	<b>145</b>
<b>Figura 82:</b> Morfoscopia de grãos de areia fina e grossa de quartzos cujos aspectos os diferenciam entre o <i>solum</i> (porção superior), a cascalheira e a alterita referente às amostras coletadas em campo. ....	<b>147</b>
<b>Figura 83:</b> Arredondamento, circularidade e índice de alongamento gerados pelo programa ImageJ para areia fina e areia grossa.....	<b>148</b>
<b>Figura 84:</b> Diagrama textural sobre a distribuição morfológica e textural dos grãos analisados. ....	<b>150</b>
<b>Figura 85:</b> Aspectos representativos sobre o <i>solum</i> referente às seções 1-4.....	<b>151</b>
<b>Figura 86:</b> Aspecto geral da textura e morfologia dos grãos encontrados na faixa 5 correspondente à <i>stoneline</i> .....	<b>152</b>
<b>Figura 87:</b> Aspectos das areias em profundidade abaixo de <i>stoneline</i> , seção 7.....	<b>153</b>
<b>Figura 88:</b> Análises geoquímicas para os perfis investigados, sendo apresentados o ataque sulfúrico, o pH e a matéria orgânica.....	<b>155</b>
<b>Figura 89:</b> Modelo de evolução esquemática sobre a estruturação dos atuais materiais encontrados na seção lateral investigada. ....	<b>157</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação aloestratigráfica de de Miall (1996). .....	<b>122</b>
<b>Tabela 2:</b> Enquadramentos físico-químicos dos solos como pré-requisitos para utilização da metodologia da pipeta. ....	<b>123</b>
<b>Tabela 3:</b> Descrições morfológicas realizadas em campo para a seção lateral investigada. ....	<b>139</b>

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

<b>1</b>	<b>PRIMEIRAS PALAVRAS</b> .....	<b>16</b>
1.1	Contextualização geral .....	17
1.2	Colocação do problema e área investigada .....	21

### CAPÍTULO 2

<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS QUE NORTEIAM ESTA PESQUISA</b> .....	<b>26</b>
2.1	Coberturas superficiais e suas particularidades.....	27
2.2	Os horizontes cascalhentos, <i>stonelines</i> .....	33
2.3	O sujeito que investiga a superfície terrestre .....	39

### CAPÍTULO 3

<b>ARTIGO/MÓDULO 1: ORGANIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA REGIONAL DA BACIA DO CÓRREGO SUJO: A SUPERFÍCIE ENQUANTO PALIMPSESTO DE UMA EVOLUÇÃO MULTI ESCALAR NO TEMPO-ESPAÇO</b> .....			<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....		<b>50</b>
3.1.1	Contextualização geral .....		50
3.1.2	O que se sabe sobre as coberturas pedológicas.....		51
3.1.3	Arcabouço geológico da área investigada e entorno .....		57
3.1.4	Geomorfologia: formas do relevo, materiais e processos.....		61
<b>3.2</b>	<b>Materiais e métodos</b> .....		<b>68</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultados</b> .....		<b>71</b>
3.3.1	Compartimentação regional geomorfológica .....		71
3.3.2	Organização de componentes espaciais na bacia do córrego Sujo .....		75
3.3.2.1	Distribuição espacial de coberturas superficiais.....		75
3.3.2.2	Rede hidrográfica e aspectos morfoestruturais.....		96
3.3.3	Proposta de evolução geomorfológica da área investigada .....		107
<b>3.4</b>	<b>Últimas considerações</b> .....		<b>115</b>

## **CAPÍTULO 4**

<b>ARTIGO/ MÓDULO 2: COBERTURAS SUPERFICIAIS: A COMPLEXIDADE NA INVESTIGAÇÃO DE UMA ÚNICA SEÇÃO NA SUPERFÍCIE E SEUS DESDOBRAMENTOS GEOMORFOLÓGICOS .....</b>	<b>116</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>118</b>
<b>4.2 Materiais e métodos .....</b>	<b>120</b>
4.2.1 Etapa de campo.....	120
4.2.1.1 Organização estrutural da seção investigada .....	120
4.2.2 Análises físicas (Laboratório).....	123
4.2.2.1 Granulometria e razão silte/argila .....	123
4.2.2.2 Morfoscopia da fração areia fina e grossa .....	125
4.2.2.3 Mineralogia por difração de raio-X .....	129
4.2.3 Análises químicas (Laboratório) .....	129
4.2.3.1 pH e $\Delta$ pH.....	129
4.2.3.2 Carbono orgânico.....	130
4.2.3.3 Ataque sulfúrico (sílica, ferro, titânio e manganês) .....	131
<b>4.3 Resultados e discussão: organização morfológica dos materiais inconsolidados.....</b>	<b>132</b>
4.3.1 Variabilidade lateral dos constituintes.....	132
4.3.2 Assinaturas físicas.....	143
4.3.2.1 Análise textural e composição mineralógica .....	143
4.3.3 Morfoscopia de areias finas e grossas de TFSA .....	145
4.3.4 Interpretações sobre a gênese e evolução dos materiais na seção investigada.....	156
<b>4.4 Últimas considerações.....</b>	<b>160</b>

## **CAPÍTULO 5**

<b>5 SÍNTESES, DISCUSSÕES E ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>166</b>



# ***CAPÍTULO 1***

## **PRIMEIRAS PALAVRAS**

# 1 PRIMEIRAS PALAVRAS

---

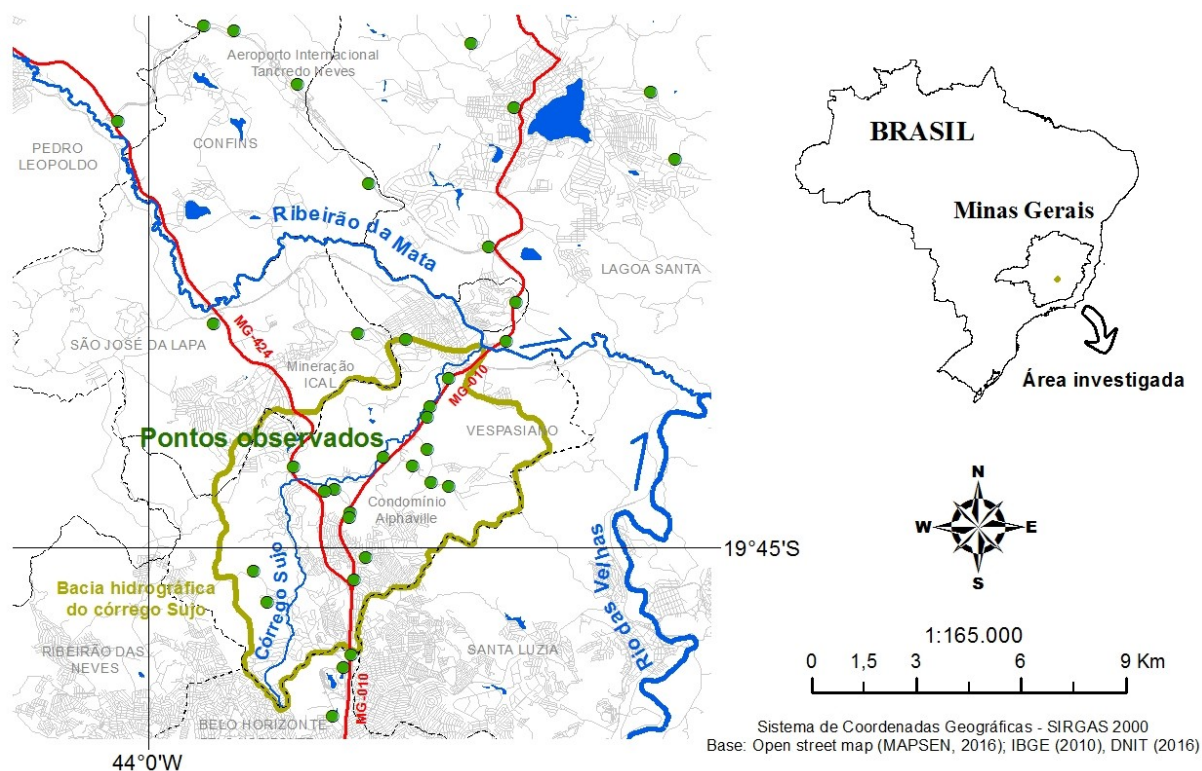
## 1.1 Contextualização geral

Investigações sobre a esculturação da superfície terrestre ao longo do tempo-espaço são o escopo de estudo das geociências, sobretudo, a Geomorfologia, a qual necessita da análise de variados componentes espaciais que integram o meio físico (CHRISTOFOLETTI, 1999; BARROS, 2013). Notadamente os materiais que integram a superfície podem conter registros de fenômenos passados e auxiliar o investigador científico a concatenar evidências sobre processos e dinâmicas pretéritas e possibilitar a atribuição de significados para uma hipótese de reconstituição paleoambiental.

Ao se tratar sobre registros marcados, principalmente, nas coberturas superficiais, são identificadas características que podem resultar de determinados fenômenos, isto é, materiais que foram mobilizados e depositados por uma dinâmica fluvial e que terão organizações e estruturas diferentes de outros que foram mobilizados por movimentos gravitacionais de massa (CASSETI, 2005). Por vezes, materiais uma vez desagregados de sua rocha matriz podem ter sido envolvidos em diferentes processos cujo resultado revela mosaicos interdigitados derivados de diferentes temporalidades, conforme identificou Moura e Mello (1991) em colúvios na região do Bananal, entre São Paulo e Rio de Janeiro.

As investigações desta pesquisa envolvem uma primeira aproximação e observação de campo sobre os variados componentes espaciais que estruturam trecho da transição entre a borda meridional do carste de Lagoa Santa e o embasamento cristalino gnáissico-granítico exumado de Belo Horizonte, sobretudo, no domínio do município de Vespasiano em Minas Gerais. As observações em campo correspondem a recortes de taludes ao longo das rodovias MG-424, MG-010 e LMG-800, localizadas nos municípios de Vespasiano, São José da Lapa, Lagoa Santa e Confins, bem como pela exumação desses materiais pelo processo de urbanização, mediante abertura de vias de circulação, taludes em loteamentos e frentes de lavra em minerações (Figura 1).

**Figura 1:** Localização da área investigada e pontos observados em campo.

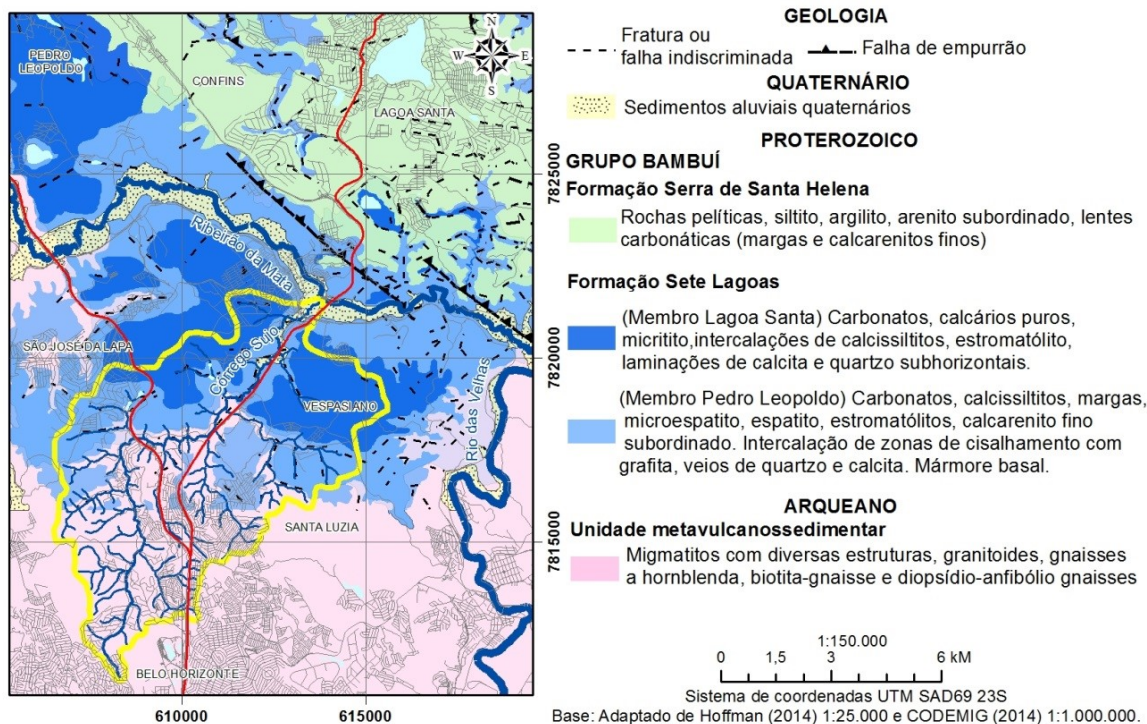


A partir do que foi observado em campo, o recorte espacial investigado corresponde a uma bacia hidrográfica de cerca de 50 km<sup>2</sup>, no município de Vespasiano, cujo afluente principal, o córrego Sujo, desagua na margem direita do ribeirão da Mata, este próximo de sua foz no rio das Velhas. Geologicamente essa bacia hidrográfica se localiza na transição entre duas diferentes organizações crustais, isto é, a porção jusante dessa bacia drena sobre sedimentos carbonatados neoproterozoicos do Grupo Bambuí pelos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo (Formação Sete Lagoas), ao passo que as cabeceiras de drenagem estão sobre rochas gnáissico-graníticas migmatíticas do complexo cristalino Belo Horizonte, do Arqueano (Figura 2).

Conforme Magalhães Jr. e Saadi (1994), zonas de diferenciações crustais discordantes como essa podem resultar em zonas de maior sensibilidade frente a campos de tensões crustais relacionados à deriva W-NW da Placa Sul-americana. Quer dizer que, ainda que essa Plataforma esteja em condições de relativa estabilidade, as discontinuidades crustais herdadas do Pré-Cambriano podem ser perturbadas, principalmente nessas zonas de contatos, favorecendo a liberação de

energia de tensões regionais e, por conseguinte, a reorganização geomorfológica da superfície.

**Figura 2:** Arcabouço geológico da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações.

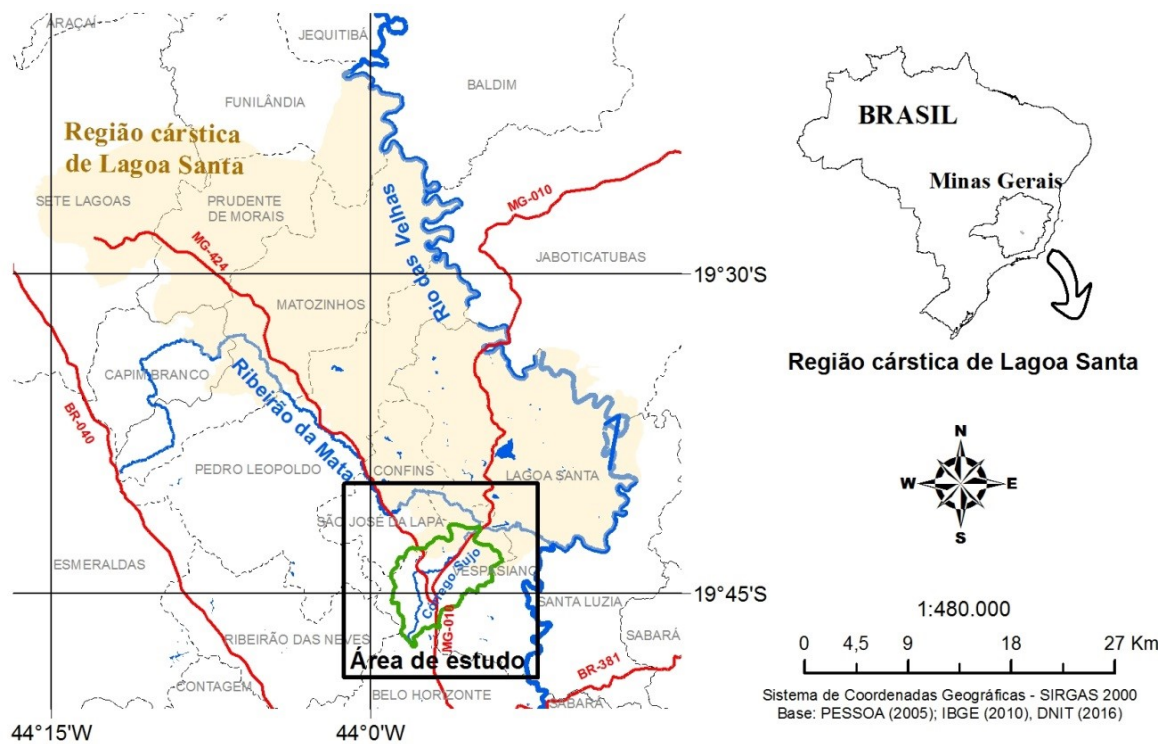


Esse recorte espacial investigado está inserido em um contexto mais regional, que envolve o carste de Lagoa Santa. O domínio do carste de Lagoa Santa, por sua vez, é arquitetado por um mosaico de componentes físicos e humanos responsáveis por edificar um complexo sistema ambiental, sendo as coberturas pedológicas um dos principais elementos que ressaltam para o investigador científico, ao possuírem considerável espessura e particularidades físicas e geoquímicas em seus materiais, que, por sua vez, podem resguardar indicadores de um passado evolutivo (KÖHLER, 1989; PILÓ, 1998; HOFFMAN, 2014). Segundo Pessoa (2005), esse domínio possui generalizadamente características que o destoam de um sistema cárstico clássico, cuja espessura de suas coberturas é um dos principais aspectos que interferem diretamente na organização espacial das formas do relevo. Essa condição faz com que esse domínio também seja denominado o *carste coberto de Lagoa Santa* (PESSOA, 2005).

O carste de Lagoa Santa, de maneira geral, corresponde a um recorte no território de Minas Gerais a cerca de 20km ao norte de Belo Horizonte, e está

modelado principalmente sobre os sedimentos argilo-arenosos das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, estas pertencentes ao Grupo Bambuí (PESSOA, 2005). Na literatura é consenso que a extensão deste carste compreende um patamar elevado entre o ribeirão da Mata e a margem esquerda do rio das Velhas, envolvendo principalmente os municípios de Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Sete Lagoas, Prudente de Moraes e Funilândia (KÖHLER, 1989; HOFFMAN, 2014) (Figura 3), além de ter parte de suas áreas consolidadas como Área de Proteção Ambiental, a *APA carste Lagoa Santa* (CPRM, 1998).

**Figura 3:** Localização do domínio cárstico na região de Lagoa Santa, em Minas Gerais, em relação à bacia hidrográfica investigada. Baseado em Pessoa (2005).



Notadamente a área foi investigada desde meados do século XIX e várias foram as motivações de seus pesquisadores, sobretudo ao tratarem da paleontologia, botânica e da paisagem cárstica da região (GOMES et al., 2006; RODRIGUES, 2013). Atualmente esse domínio corresponde ao vetor norte da região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), ou seja, possui considerável ritmo de transformação de seu espaço geográfico por intermédio de fluxos de pessoas, extração de recursos naturais minerais, além de pressões socioeconômicas sobre o

carste enquanto sistema ambiental que interfere desde a atividade turística até o abastecimento hídrico público de qualidade (HOFFMAN, 2014).

## **1.2 Colocação do problema e área investigada**

É nesse contexto regional de transição entre o carste de Lagoa Santa e o embasamento cristalino exumado que esta pesquisa se insere, sendo sua área de estudo envolvendo parte do trecho meridional, correspondente à bacia hidrográfica do córrego Sujo. Esta bacia hidrográfica investigada, ainda que possua dimensões zonais significativamente menores em relação a outros afluentes que desaguam no ribeirão da Mata, possui particularidades na variabilidade de sua organização topográfica, no tipo e na maneira como suas coberturas superficiais estão distribuídas, além do arranjo de sua rede hidrográfica. Visto que a área dessa bacia se localiza no vetor norte de Belo Horizonte, notadamente possui alterações antrópicas em seus componentes espaciais. Todavia, por meio de observações de campo, foram encontradas evidências de registros de fenômenos pretéritos, o que permite que essa bacia seja investigada sob uma perspectiva geomorfológica, que compreende recuos maiores no tempo-espço para além da ocupação antrópica.

Nesse aspecto, este trabalho segue pela seguinte indagação norteadora: qual o significado geomorfológico da recorrência de concentrações de fragmentos grossos de quartzo subarredondados a subangulosos encontrados em coberturas superficiais que integram a área da bacia hidrográfica do córrego Sujo?

Por meio desse questionamento, este trabalho tem como objetivo principal a proposta de reconstituição geomorfológica para a área de estudo, a partir da investigação dos materiais e sua relação a organização topográfica regional, suas respectivas coberturas superficiais e o arranjo da rede hidrográfica que integra a bacia investigada. Como objetivos secundários este trabalho versa sobre o papel do sujeito investigador científico enquanto observador de uma dada materialidade no espaço e atribuidor de significados sobre os fenômenos apreendidos, mediante a necessidade de se realizar um trânsito escalar entre eles.

Para que se atinjam os objetivos desta pesquisa se tornou necessário o emprego de procedimentos metodológicos quanto ao trato das diferentes escalas de abordagem na análise da superfície. Nesse aspecto a condução das investigações nesta pesquisa é guiada a partir da proposta metodológica de Ab'Saber (1969), no qual o autor trata sobre três (3) níveis de tratamento escalar analítico, sendo:

“Em um primeiro nível de considerações, a Geomorfologia (...) cuida do entendimento da compartimentação da topografia regional, assim como da caracterização e descrição, tão exatas quanto possíveis, das formas de relevo de cada um dos compartimentos estudados” (AB'SABER, 1969, p.1).

Esse primeiro nível Ab'Saber (1969) indica que o principal ponto de partida sobre a investigação geomorfológica envolve uma aproximação por parte do sujeito científico sobre a organização espacial topográfica regional e suas formas modeladas. Ou seja, essa escala de abordagem tangencia perspectivas, sobretudo, regionais do olhar do sujeito para com seu objeto de estudo: a paisagem. Visto que Paulet (2002) e Nakao (2005) advogaram que esse olhar é permeado de filtros operativos, esse entendimento sobre a compartimentação do relevo pode se desmembrar sobre variadas abordagens dos aspectos percebidos na superfície pelos sujeitos, e, por conseguinte, resultando em uma multiplicidade de compartimentações. Segundo Ab'Saber (1969):

“Em um segundo nível de tratamento, a Geomorfologia - além dessas preocupações topográficas e morfológicas básicas e elementares - procura obter informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens, referentes a todos os compartimentos e formas de relevo observados. Através desses estudos, por assim dizer estruturais, superficiais, e, até certo ponto, estáticos, obtém-se ideias da cronogeomorfologia e as primeiras proposições interpretativas sobre a sequência dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos quaternários da área de estudo. Dessa forma, observações geológicas dos depósitos, e observações geomorfológicas das feições antigas (superfícies aplainadas, relevos residuais) e recentes do relevo (formas de vertentes, pedimentos, terraços, etc.) conduzem a visualização de uma plausível cinemática recente da paisagem.” (AB'SABER, 1969, p.1-2).

Esse segundo nível analítico de Ab'Saber (1969) corresponde a etapa posterior à conscientização sobre o modelado regional do relevo, cuja metodologia se debruça sobre a estrutura superficial da superfície e seu respectivo posicionamento dentro dos compartimentos regionais sistematizados. Nesse segundo nível, portanto, estão inseridas as principais análises que tangenciam a

investigação sobre a procedência dos materiais, se foram colúvios, alúvios ou elúvios, bem como sua organização estrutural quanto aos seus constituintes sob a perspectiva de suas assinaturas físicas e geoquímicas.

Por fim, o terceiro nível de tratamento que Ab'Saber (1969) advogou:

“(...) a Geomorfologia moderna cuida de entender os processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, em sua plena atuação, ou seja, procura compreender globalmente a fisiologia da paisagem, através da dinâmica climática e de observações mais demoradas sob o controle de equipamentos de precisão. No caso, ao invés de estudar os resultados cumulativos dos eventos quaternários inclusos na estrutura superficial da paisagem, pretende-se observar a funcionalidade atual e global desta mesma paisagem (dinâmica climática e hidrodinâmica)” (AB'SABER, 1969, p.2).

Para esse terceiro nível o autor versa sobre a fisiologia da paisagem mediante a necessidade de compreensão sobre processos plenamente atuantes. Isto é, nessa escala de abordagem Ab'Saber (1969) entende-se que interessam processos como os movimentos gravitacionais de massa que ocorrem decorrentes de uma instabilidade geotécnica ou ainda taxas de deposições sedimentares nas margens de um curso d'água.

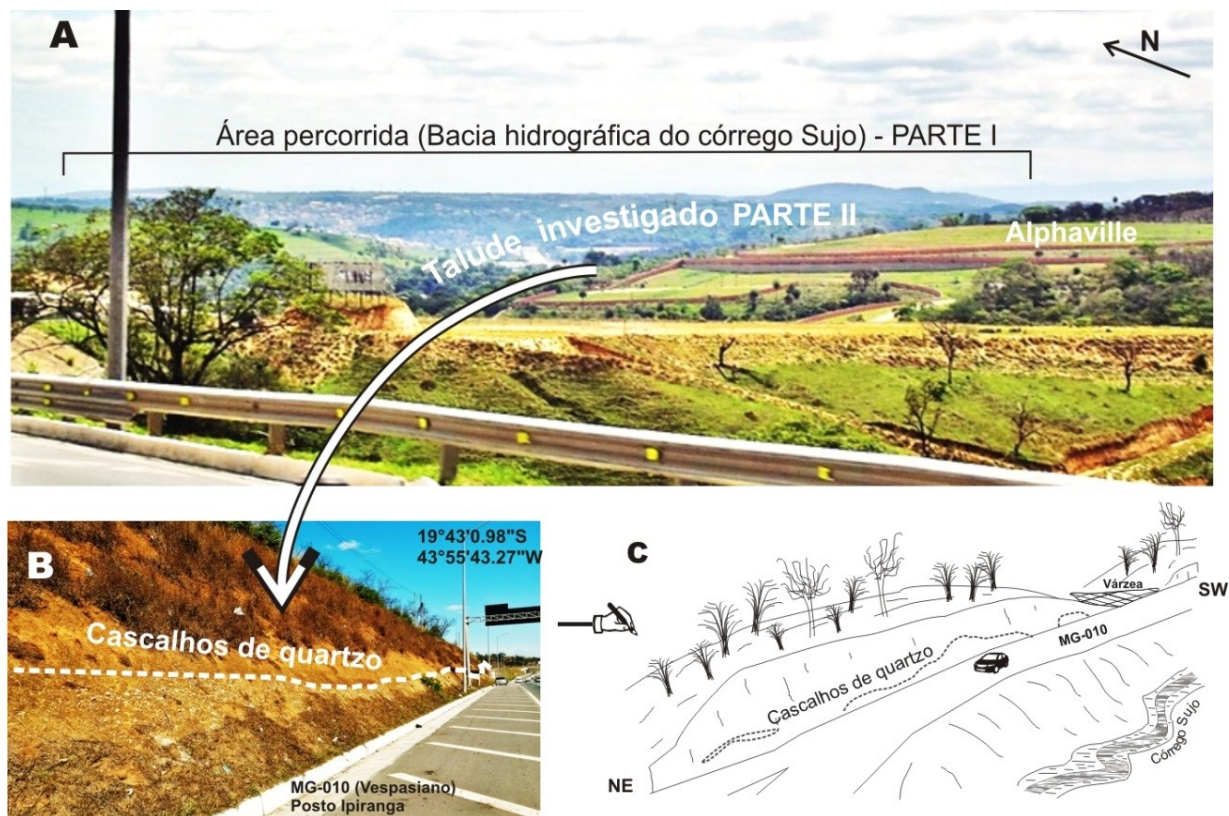
A partir dessa proposta de investigação e para se atender os objetivos propostos para esta pesquisa, foram formuladas as seguintes metas de acordo, sobretudo, com o primeiro e segundo nível: (i) mapeamento geomorfológico em escala de detalhe da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações; (ii) caracterização e apresentação da variabilidade dos materiais que integram as coberturas superficiais na área investigada e suas particularidades; (iii) observar, caracterizar e investigar a organização da atual rede hidrográfica; (iv) realizar o trânsito escalar de investigação, por meio da compreensão global de como se estruturam e organizam os materiais na bacia em associação à verticalização de uma seção representativa das coberturas observadas.

O trabalho é segmentado em duas principais partes, sendo a primeira envolvendo uma análise geomorfológica de âmbito mais regional, a qual envolve a área da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações, cuja escala de abordagem tangencia maior recuo espaço-temporal, bem como possivelmente uma multiplicidade de fenômenos responsáveis por edificar a atual organização dos



componentes físicos da bacia (Figura 4). A segunda parte do trabalho apresenta a escolha de uma seção lateral às margens da rodovia MG-010 (Figura 4).

**Figura 4:** Área investigada, em A envolve os estudos em âmbito regional, em B e C a escolha de uma seção lateral para escalas locais.



Esta seção compreende uma característica relativamente comum na bacia: a concentração de fragmentos grossos de quartzos inseridos em uma matriz de componentes finos, que, para a seção aqui investigada, se apresenta bastante espessa, apresentando em sua porção inferior cor amarelada e relativamente alaranjada em sua porção superior (Figura 4). Esta seção está posicionada na região central da bacia do córrego Sujo, de maneira adjacente a este córrego e diretamente sobre os cálcio-filitos do Membro Pedro Leopoldo.

Para a apresentação dos resultados deste trabalho, a maneira como foi estruturada sua análise, bem como o arcabouço teórico-conceitual que o norteou, organizou-se em um total de cinco capítulos, sendo o primeiro voltado para apresentação geral das informações, questionamento, objetivos e metas formuladas. O segundo capítulo envolve a discussão quanto aos principais norteamentos e concepções que guiaram o trabalho mediante as maneiras como o sujeito

investigador observa seu objeto, no caso, componentes que estruturam o meio físico, com o propósito de se reconstituir geomorfologicamente uma dada história. Esse segundo capítulo também compreende um panorama geral sobre o arcabouço geológico e o contexto de inserção da área investigada.

Os capítulos 3 e 4, por sua vez, são destinados à apresentação das observações e análises realizadas em campo e laboratório, tendo sido eles elaborados na forma de artigos. O capítulo 3 trata de discussões de âmbito sobretudo, regional, ao passo que o capítulo 4 lida com escalas locais e sua representatividade no trato à investigação geomorfológica, o que não necessariamente representa menores recuos no tempo-espço. O capítulo 5, por fim, apresenta uma recapitulação geral sobre os desdobramentos da pesquisa, por meio da discussão integrada do que foi analisado e apresentado, sobretudo, nos capítulos 3 e 4. O capítulo 5 ainda traz o sujeito investigador, enquanto aquele que atribui significados e reconstitui um dado ambiente, mediante o mosaico de componentes que se identifica na superfície, bem como a necessidade do trânsito escalar adequado a depender dos objetivos de investigação.

# ***CAPÍTULO 2***

## **FUNDAMENTOS QUE NORTEIAM ESTA PESQUISA**

## **2 FUNDAMENTOS QUE NORTEIAM ESTA PESQUISA**

---

### **2.1 Coberturas superficiais e suas particularidades**

A superfície terrestre geralmente possui vastas distribuições espaciais de materiais inconsolidados ou fracamente consolidados, de espessura variável e que contribuem à esculturação das formas de relevo, cuja investigação sobre sua gênese e evolução pode fornecer indicadores sobre as condições, sobretudo, geomorfológicas de um dado ambiente (THOMAS, 1994; GUPTA, 2011; SIMÕES et al., 2016). Esses materiais existem em virtude da interface entre o arcabouço geológico, as formas de relevo, o comportamento da temperatura, a disponibilidade hídrica e ação biológica, sendo este conjunto responsável por alterar e desagregar a cristalografia mineral primária das rochas por meio do intemperismo químico, físico e biológico (GUPTA, 2011).

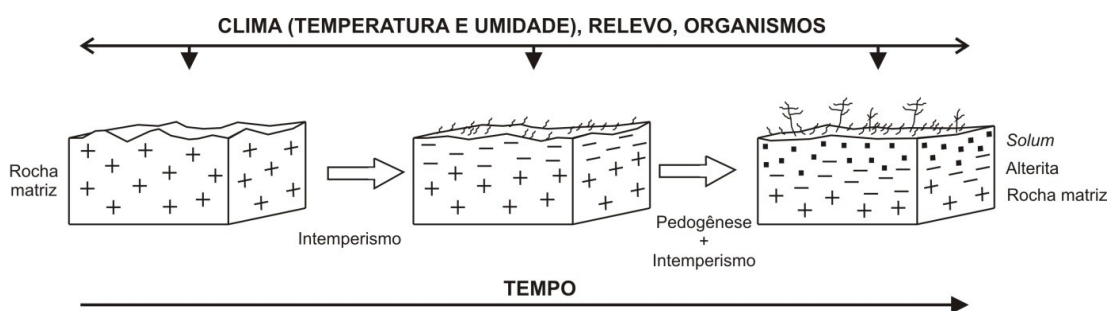
O processo de intemperismo ocorre quando um ambiente fornece uma energia superior à resistência das forças de ligação estrutural dos minerais das rochas, gerando-se um desequilíbrio físico-químico que favorece a reorganização dos elementos químicos e suas ligações. Esse fenômeno pode ser definido pela ação mecânica, química ou biológica. De acordo com as concepções de Gupta (2011), em um primeiro momento, o intemperismo físico pode facilitar a ação de alteração geoquímica em razão de favorecer a fragmentação da estrutura das rochas em menores partículas aumentando, por sua vez, a superfície de contato onde ocorrem as principais reações químicas dos retículos cristalinos. O intemperismo físico pode ser resultado de ciclos de secagem e umedecimento, que extrapolam a capacidade de expansão dos constituintes das rochas, ou ainda, ação de agentes biológicos (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUPTA, 2011).

O intemperismo químico, por sua vez, é mais complexo que o intemperismo físico, e ambos ocorrem de maneira simultânea, todavia, sendo um deles predominante (GUPTA, 2011). As alterações químicas geralmente ocorrem de maneira associada à atividade biológica, por meio da inserção de matéria orgânica e micro-organismos no sistema, o que interfere diretamente no potencial de trocas de cargas elétricas nas reações moleculares (CHRISTOFOLETTI, 1980). Conforme Gupta (2011), em zonas climáticas onde as temperaturas são mais elevadas e há

maior disponibilidade hídrica, o intemperismo geoquímico é acelerado. Esse fato é resultado da cristalografia mineral original das rochas, da condição climática predominante de temperatura e umidade elevada, do modelado do relevo, de sua cobertura vegetal e da intensidade de atuação anterior do intemperismo mecânico, na qual esses componentes interagem no decorrer do tempo, sob uma dada espacialidade.

Os materiais, uma vez inconsolidados, tornam-se passíveis de serem progressivamente transformados *in situ* ou mobilizados na superfície, o que caracteriza os conceitos de autoctonia ou aloctonia. O primeiro compreende coberturas que possuem gênese direta a partir de sua rocha subjacente, isto é, a rocha matriz é progressivamente desestruturada resultando em alterita ou horizonte C, por meio de alterações físicas e/ou químicas. Posteriormente, com a participação biológica, se iniciam os processos de pedogênese, que reorganizam e transformam seus constituintes. Nesse contexto, no decorrer do tempo e de maneira nem sempre perene, é gerada uma sucessão vertical, cuja base é integrada pela rocha ainda inalterada, seguida acima por zonas de alteração e reorganização (alterita) e, por fim, o *solum* (horizontes pedogenéticos A+B) (Figura 5).

**Figura 5:** Estágios de desenvolvimento de materiais inconsolidados na superfície por meio da atuação do processo de intemperismo e posterior pedogênese.



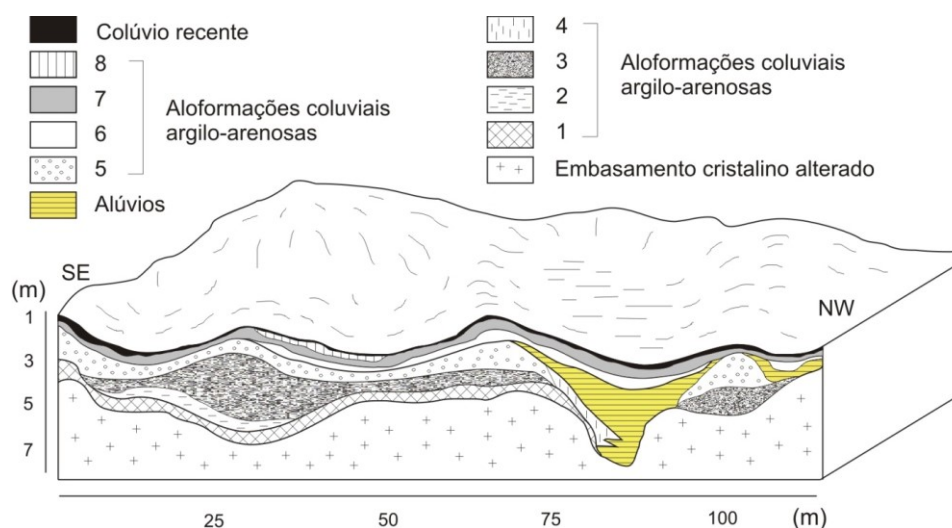
**Fonte:** Adaptado de Gupta (2011).

Materiais que foram mecanicamente mobilizados, isto é, que possuem gênese alóctone, envolvem maior complexidade em sua investigação. Isso quer dizer que, em um primeiro momento, ocorreram processos de intemperismo geoquímico, mecânico e/ou biológico *in situ*, sendo seu produto posteriormente transportado mediante agentes como o escoamento hídrico pluvial (colúvios),

movimentos gravitacionais de massa (colúvios) e escoamento hídrico fluvial (alúvios) (CHRISTOFOLETTI, 1980; CASSETI, 2005). O agente eólico e os movimentos gravitacionais de gelo também contribuem para a mobilização dos materiais, e ocorrem principalmente em zonas climáticas temperadas (GUPTA, 2011).

Materiais alóctones, alúvios e colúvios podem, posteriormente, ser alterados *in situ* pela pedogênese. Nesse aspecto, progressivamente perde-se registros de deposição, conforme observado por Moura e Mello (1991). Por meio da ação geoquímica e biológica os materiais, uma vez mobilizados e estratificados, são progressivamente interdigitados e homogeneizados. Um exemplo que retrata esse fenômeno está localizado na região do Bananal na divisa entre São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 6).

**Figura 6:** Aloestratigrafia de seqüências colúvio-aluviais na região do Bananal, divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.



**Fonte:** Adaptado de Moura e Mello (1991).

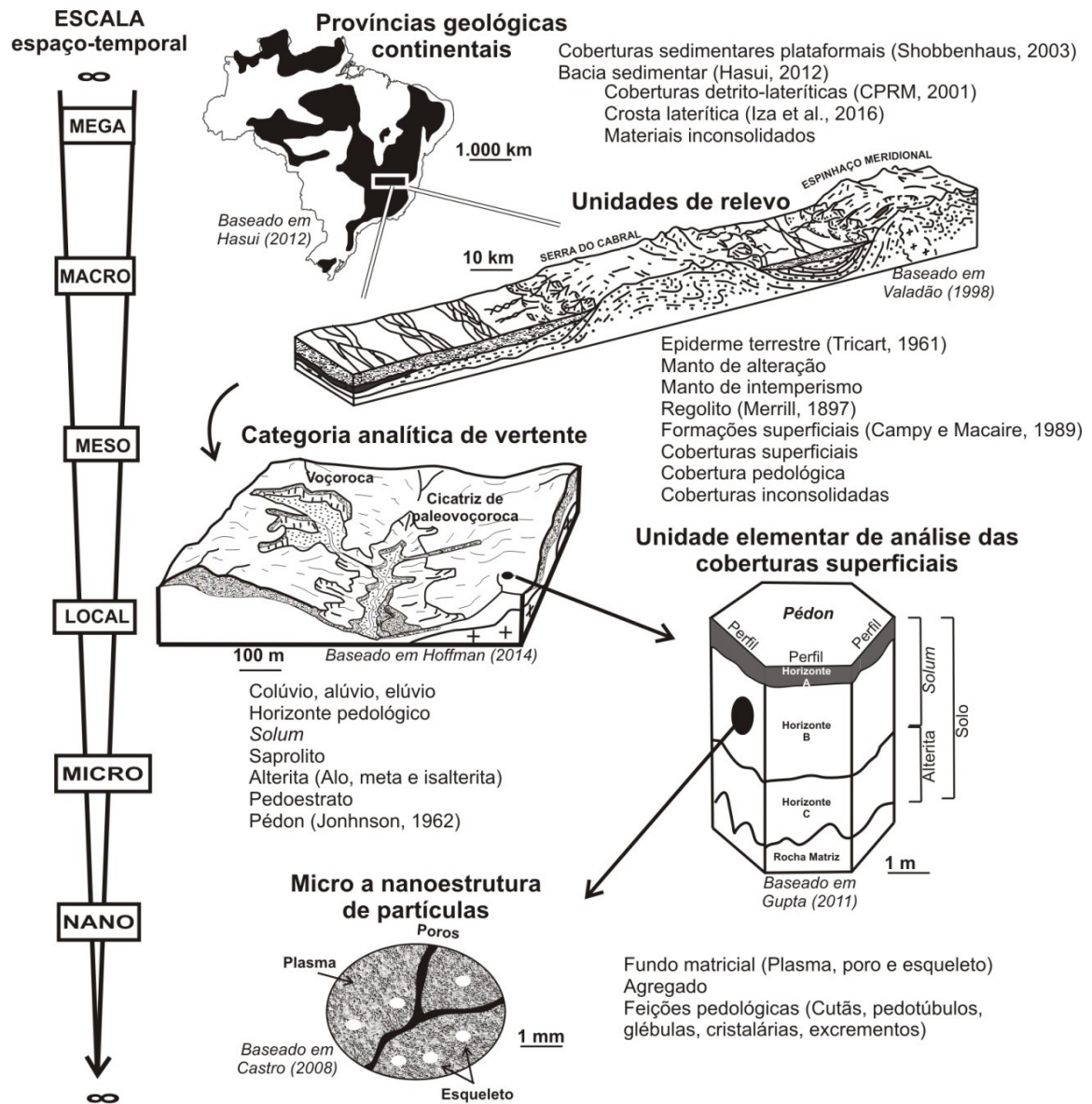
Os materiais alóctones representados na figura 6 foram mapeados segundo princípios da aloestratigrafia, isto é, pela identificação de corpos uniformes, mapeáveis e definidos com base em discontinuidades (MOURA e MELLO, 1991). Trata-se de uma sucessão de depósitos colúvio-aluviais quaternários, de aproximadamente 10.000 anos, cuja espessura alcança até 4 metros. Moura e Mello (1991) relataram dificuldades em definir as unidades mediante o caráter descontínuo, irregular e interdigitado dos materiais, além do curto tempo geológico envolvido. Se, por um lado, os autores consideraram factível identificar a gênese

alóctone desses materiais, por outro, seu mapeamento carece de metodologias adequadas. Conforme o apresentado por Moura e Mello (1991), provavelmente esses materiais alóctones investigados tiveram contribuição por processos autóctones, isto é, pedogenéticos, ao homogeneizar os diferentes estratos.

Conforme apresentado, as coberturas superficiais apresentam considerável variabilidade enquanto composição mineral, granulométrica, estrutural e histórica. Nesse aspecto, esses materiais também possuem diferentes escalas espaço-temporais de investigação, o que implica diretamente sobre suas definições terminológicas. Dessa maneira, formações superficiais, cobertura pedológica, coberturas superficiais, manto de intemperismo, epiderme terrestre, manto de alteração e coberturas detrito-lateríticas são alguns dos termos utilizados para defini-los conceitualmente (TRICART, 1961; AB'SABER, 1962; JOLY, 1967; CAMPY e MACAIRE, 1989; LEBRET et al., 1993; QUEIROZ-NETO, 2001, 2010; IZA et al., 2016).

A Figura 7 compreende um compilado de terminologias utilizadas de maneira recorrente na literatura para se referir às coberturas que compõem a superfície terrestre. Notadamente, a escala espaço-temporal é uma variável associada à maneira como se investiga essas coberturas, nas quais, quanto maior o recorte espacial abordado e sua temporalidade, menos detalhes se extraem desses materiais inconsolidados. Isto é, em uma mega-escala, que pode corresponder a uma plataforma continental, as coberturas superficiais figuram como materiais de espessura desprezível, que recobrem um dado arcabouço litoestrutural (Figura 7). Em contrapartida, em uma nano-escala, observa-se, por meio de instrumentos, a organização elementar de um pequeno fragmento de uma cobertura, e que, por vezes, independe de seu arcabouço geológico, além de ser uma estruturação que se arquiteta em uma temporalidade mais curta em relação àquela de uma mega-escala (Figura 7).

**Figura 7:** Principais termos conceituais sobre materiais inconsolidados que integram e modelam a superfície terrestre.



Fonte: Elaborado pela autora

Para uma análise geomorfológica sobre gênese e evolução do modelado da superfície topográfica, geralmente as coberturas inconsolidadas são investigadas em uma faixa de abrangência local até macro (Figura 7). Essa faixa compreende principalmente a necessidade de se atribuir a filiação genética dos materiais. Isso quer dizer que, para se compreender como se processaram as transformações do modelado, é necessário entender como os materiais se mobilizaram ou foram transformados permanentemente *in situ* desde sua desagregação de sua rocha matriz original. Ainda que a análise desses materiais em uma escala geomorfológica



de maior recuo temporal e abrangência espacial torne sua representação relativamente sintetizada, designando-as como coberturas superficiais, formações superficiais, manto de intemperismo, regolito, dentre outras, em contrapartida, para se compreender uma reconstituição regional, necessita-se o trânsito entre escalas que expressa temporalidades e dimensões reduzidas. O diálogo adequado mediante os propósitos da pesquisa é o que definirá até onde se deve transitar por múltiplas escalas, para que se chegue a significações adequadas em suas escalas.

Acerca da complexidade de se investigar coberturas superficiais, no contexto do território brasileiro, esses materiais comumente se apresentam bastante espessos e integrados pelo predomínio de argilominerais silicatados não expansivos, a exemplo da caulinita, associados a óxidos de ferro como a hematita, matéria orgânica, areias e, às vezes, fragmentos mais grossos de tamanho seixo (TRICART, 1961; AB'SABER, 1962; SCHAEFER, 2001; JARAMILO, 2002). Essas coberturas, ao contrário daquelas compostas essencialmente por areias, possuem forte estruturação de seus componentes, maior coesão entre partículas e maior variabilidade, tanto em distribuição espacial quanto em composição mineralógica. Segundo Schaefer (2001), aproximadamente 60% das coberturas superficiais do país possui essas características, o que equivale a 5.109.460,229 Km<sup>2</sup> segundo IBGE (2010), cujos materiais são enquadrados na classe taxonômica de Latossolo, conforme metodologia de Santos et al. (2013) (Figura 8). A gênese desses latossolos, por sua vez, pode remontar ao Terciário, tendo Schaefer (2001) os denominado como *Tertiary paleoweathering mantle*.

**Figura 8:** Distribuição espacial de coberturas superficiais classificadas como Latossolo no território brasileiro e seus respectivos critérios taxonômicos.



**Fonte:** Elaborado pela autora, baseado em Schaefer (2001) e Santos et al. (2013).

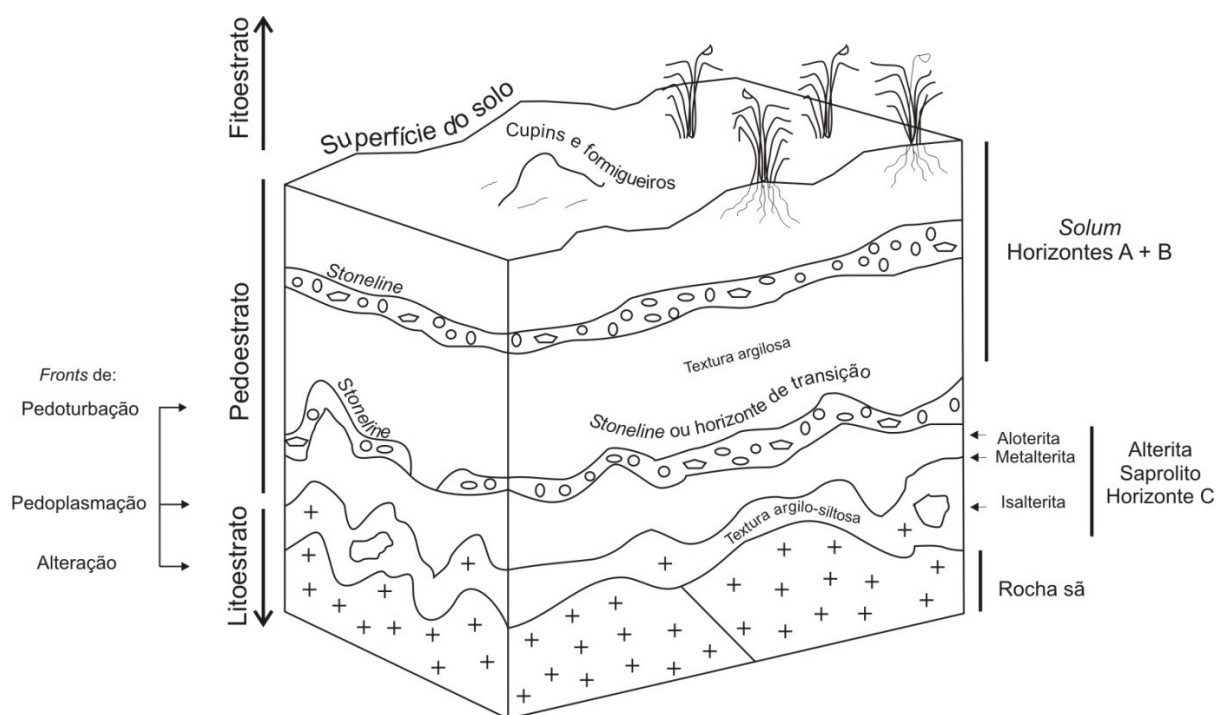
Nessas coberturas ainda é recorrente serem encontrados fragmentos de materiais grossos inseridos em uma espessa matriz pedológica (AB'SABER, 1962; RIOU, 1990; THOMAS, 1994; HIRUMA, 2007; GUPTA, 2011), conforme observado em território brasileiro por Ab'Saber (1962) e no continente africano por Aubert e Segalen (1966). Esses materiais correspondem a uma parte dos componentes que integram as coberturas superficiais, os quais se destacam por seu aspecto destoante em relação aos demais componentes e pela recorrente associação como indicadores evolutivos do ambiente.

## 2.2 Os horizontes cascalhentos, *stonelines*

Por definição, linhas de pedra (HIRUMA, 2007; SANTOS et al. 2010), linhas de seixos (QUEIROZ-NETO, 2002; HIRUMA, 2007), *stonelines* (SEGALEN, 1969; TAMURA, 1975; RIOU, 1990; QUEIROZ-NETO, 1969, 2010), pavimentos detríticos (PENTEADO, 1969), *nappe de gravats* (QUEIROZ-NETO, 1969; SEGALEN, 1969), *ligne de pierres* (SEGALEN, 1969), *gravelon* (RIOU, 1990), *stone-layer* (DE HEINZELIN, 1955) ou horizontes inhumados de cascalho (AB'SABER, 1962) são alguns dos sinônimos para concentrações de fragmentos grossos inseridos no manto de alteração superficial. Tais materiais integram um horizonte cascalhento de

espessura variável (SEGALEN, 1969), geralmente concordantes à superfície topográfica (SCHAEFER, 2001; CASSETI, 2005; HIRUMA, 2007), sendo limitados acima por materiais relativamente homogêneos de textura areno-siltico-arenosa e, abaixo, pelo contato com a rocha alterada (HIRUMA, 2007); para este autor as *stonelines* marcam o contato entre o *solum* (horizontes A + B) e alterita ou saprolito. Todavia, Riou (1990) aponta que *stonelines* também podem estar inseridas em uma matriz argilosa sem, necessariamente, ter contato ou características de alterita (Figura 9).

**Figura 9:** Representação esquemática sobre organizações de *stonelines* em coberturas superficiais em zona clima intertropical.



**Fonte:** Elaborado pela autora, baseado em Ab'Saber (1962), Riou (1990) e Hiruma (2007).

A composição desses materiais pode variar, contendo desde fragmentos em avançado estágio de intemperismo, como couraças ferruginosas, até materiais pouco alterados como detritos de rochas (SEGALEN, 1969), bem como minerais pesados (HIRUMA, 2007), minerais que resistem às transformações geoquímicas como o quartzo (SEGALEN, 1969) e concreções diversas (RIOU, 1990). Esses fragmentos têm arestas angulares a arredondadas (SELAGEN, 1969; HIRUMA, 2007) e tamanho que varia desde menores que um centímetro, mas raramente

maiores que um metro. Porém, no conjunto, há a prevalência do tamanho de um punho fechado (SELAGEN, 1969).

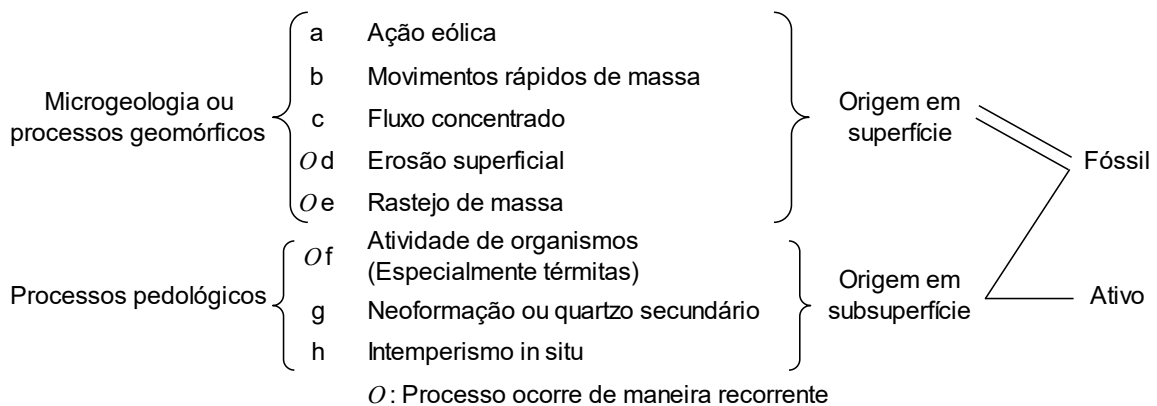
A partir da perspectiva evolutiva, esses horizontes cascalhentos usualmente são apontados como indicadores da evolução de determinado ambiente (SEGALEN, 1969; VOGT, 1969; HIRUMA, 2007). Tamura (1975) sugere que as investigações nos trópicos começaram a obter destaque a partir da década de 1950, sendo o termo em inglês *stoneline* usado recorrentemente, inclusive na literatura francesa e alemã. Duas principais hipóteses ganharam destaque, uma que relaciona à ação de térmitas como possível origem para as *stonelines*, e outra que as atribui a paleopavimentos detríticos gerados por climas mais secos cujos materiais foram posteriormente recobertos por materiais finos (TAMURA, 1975). Ainda que o autor tenha constatado tal dicotomia na década de 1970, nos dias atuais ainda são recorrentes discussões semelhantes acerca do significado desses materiais.

Para Hiruma (2007), a concentração de fragmentos grossos pode estar associada a um ou múltiplos processos atuantes em dadas condições ambientais. Nesse aspecto o desenvolvimento *in situ* implica em um processo por meio de condições climáticas constantes, ao passo que a gênese alóctone implica em uma sucessão de processos, o que torna a *stoneline* indicador de mudanças paleoclimáticas e paleoecológicas (HIRUMA, 2007). Portanto, para Hiruma (2007), *stonelines* estariam associadas a marcadores de mudanças no ambiente, o que é corroborado por Ab'Saber (1962), que chegou a afirmar que os cascalhos figuram como remanescentes de condições climáticas de maior aridez, tal como proposto por King (1956). Segundo Thomas (1994), essa hipótese foi a principal explicação para a origem das *stonelines* em território brasileiro durante boa parte do século XX e revela forte contribuição alóctone de formação, aloctonia esta que é atribuída desde 1868 por Louis Agassiz, segundo Schaefer (2001).

Outra teoria que vigora sobre esses materiais é a hipótese autóctone de origem por meio da ação de térmitas, isto é, a bioturbação. Schaefer (2001) sugere que as espessas coberturas superficiais se desenvolveram em meados do Cretácio (~100Ma) até o Terciário (~23Ma), passaram por processos bióticos responsáveis pela atual organização das coberturas pedológicas, cuja principal evidência é pela estabilidade microestrutural de seus constituintes. Nesse longo processo, os

materiais grossos foram progressivamente acumulados, enquanto os materiais finos se reorganizavam mediante pedogênese. Nota-se que Schaefer (2001) não exclui possíveis ações morfoclimáticas na elaboração de *stonelines*, porém, a contribuição biológica pode ser maior em relação às concepções que prevalecem atualmente. Tamura (1975) corrobora ao afirmar que esses materiais podem ter sua gênese associada a uma multiplicidade de processos que culminaram na atual organização nas coberturas superficiais (Figura 10).

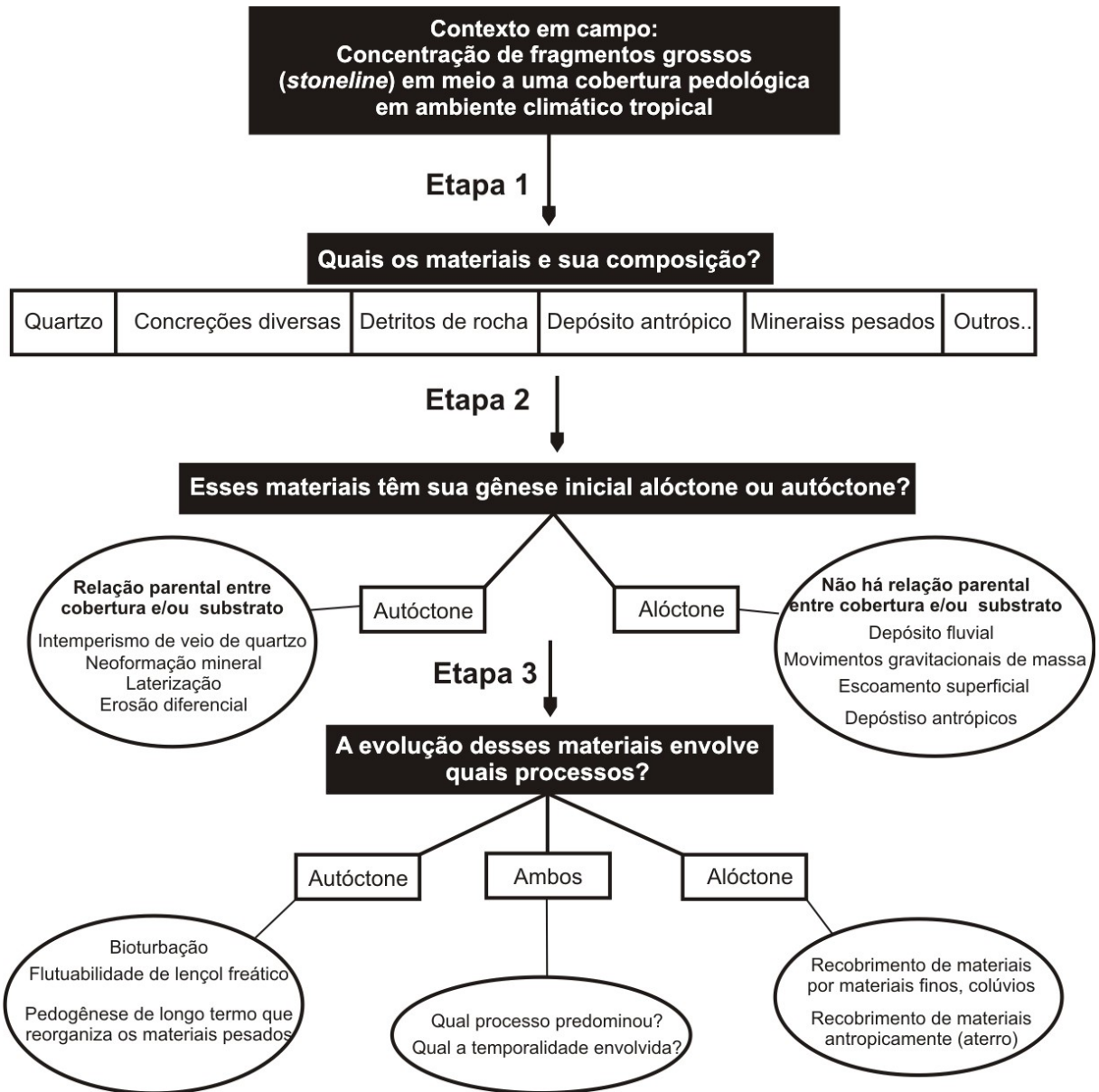
**Figura 10:** Principais processos superficiais que podem elaborar *stonelines*.



**Fonte:** Adaptado de Tamura (1975).

A organização realizada por Tamura (1975), tal como mostrado na Figura 9, sugere que as *stonelines* podem decorrer de um ou múltiplos processos combinados, o que sugere cautela ao se utilizar linhas de pedras como indicador de condições paleoambientais. A Figura 11 corresponde à tentativa, neste trabalho, de se organizar o que se está posto na literatura acerca dos fundamentos de investigação de *stonelines*, particularmente em ambiente intertropical. Fluxogramas semelhantes poderiam ser organizados tanto para ambientes temperados quanto glaciais, todavia, a interpretação dos materiais demandaria concepções para além dos interesses deste trabalho.

**Figura 11:** Modelo de investigação sobre gênese e evolução de *stonelines* em ambiente intertropical.



**Fonte:** Elaborado pela autora.

A partir da análise da Figura 11, pode-se entender que o início de investigação demanda a definição dos objetivos propostos e a apreensão em campo sobre o contexto espacial em que se organizam esses materiais. No exemplo, foi citada uma situação recorrente que se encontra nas coberturas superficiais encontradas tanto no Brasil (AB'SABER, 1962) quanto no continente africano (AUBERT e SELAGEN, 1966), ou seja, uma linha de fragmentos grossos inseridos em meio a uma espessa cobertura argilosa.

Uma vez definidos os objetivos, o próximo passo é identificar quais materiais integram a *stoneline*, tendo em vista que esses podem variar (HIRUMA, 2007). São concreções ferruginosas? Minerais resistentes como o quartzo? Ou até mesmo um antigo depósito antrópico de detritos? Questões como estas podem ser respondidas mediante observações e análises de campo. Todavia, o observar permite uma primeira aproximação por meio de descrições e de organização dos materiais. Deve-se pensar que esses, por sua vez, possuem uma dada procedência que pode ser autóctone ou alóctone, ou seja, terem uma filiação direta ou não ao arcabouço geológico ou mesmo à cobertura superficial. Em relação à gênese autóctone de *stonelines*, estas podem ser residuais no processo de intemperismo, por exemplo, de veios de quartzo a partir do arcabouço geológico, ou também podem ter sua gênese por meio de neoformação *in situ*, a partir de coberturas superficiais pretéritas autóctones ou alóctones.

A partir dessas etapas é possível perceber que podem ser individualizadas duas principais fases na investigação de *stonelines*: a primeira que se preocupa com a origem dos materiais, e a segunda, que procura explicar a evolução desses materiais culminando na sua atual organização em *stoneline*. Apesar de parecer uma diferença sutil, sua não observação pode alterar o diagnóstico sobre sua real gênese e evolução. Para evidenciar tal diferença suponha um primeiro cenário no qual foram depositados materiais detríticos sobre uma superfície (processo alóctone), ao passo que sua evolução se desdobrou pela progressiva pedogênese e bioturbação (processos autóctones), de modo que fragmentos grossos se reorganizaram e foram progressivamente incorporados em meio a uma matriz fina. Ainda que os materiais grossos tenham sido mobilizados por processos predominantemente *in situ*, sua gênese inicial corresponde à deposição por algum agente de transporte.

Outro cenário hipotético se refere a coberturas superficiais finas de gênese alóctone, na qual posteriormente por processos de pedogênese assumiu aspectos de materiais formados *in situ*. Uma *stoneline* pode ter sido formada de maneira autóctone nessas coberturas, ou seja, sem que tenha contribuição da deposição inicial das coberturas caso os materiais finos tenham sido submetidos a reorganizações geoquímicas dos constituintes mediante oscilações do lençol

freático, responsáveis por gerar concreções lateríticas. Supondo que atualmente essas concreções possuam aspectos que as caracterizem como *stoneline*, sua formação independe da gênese dos materiais que a originaram, visto que sua formação foi posterior e *in situ*.

Esses dois cenários hipotéticos foram formulados a partir da apreensão acerca das investigações presentes na literatura sobre *stonelines* em De Heinzelin (1955), Ab'saber (1962), Penteado (1969), Queiroz-Neto (1969), Selagen (1969), Tamura (1975), Riou (1990), Thomas (1994), Hiruma (2007), Santos et al. (2010) e Gupta (2011). Como sugerido na Figura 11, a operacionalidade de se atribuir a gênese e evolução de *stoneline* representa a soma de etapas de investigação que incluem a observação, descrição, significações e metodologias que permitam atribuir análises adequadas.

A complexidade em se compreender e realizar dada reconstituição paleoambiental se configura tanto em interpretar o caminho trilhado por um material, bem como sua proveniência inicial em um dado ambiente. Tal complexidade envolve principalmente a temporalidade compreendida entre o momento inicial e o atual dos materiais, a escala de análise e a dimensão espacial envolvida na organização desses materiais.

### **2.3 O sujeito que investiga a superfície terrestre**

O conhecimento atual sobre a natureza dos objetos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre é edificado mediante a soma de investigações científicas levadas a termo por sujeitos científicos no decorrer da história da humanidade. Esses sujeitos, uma vez debruçados sobre a análise de componentes espaciais, a fizeram mediante a motivação do saber/compreender o *porquê* e o *como* se opera o mundo. O *saber* para a ciência é algo relativo, na qual cada observador científico olha para esse mesmo mundo por meio do aporte de diferentes concepções teórico-metodológicas, cujo resultado se desdobra em uma vasta gama de significados e representações. Ciência, nas palavras de Rhoads e Thorn (1993), se refere à atividade cognitiva em que a teoria procura suprir a carência existente entre o



mundo real e o *mundo* concebido. Para se fundamentar teorias, métodos e práxis de conceber o *mundo* por meio da ciência, segundo Triviños (1987), há princípios tratados, sobretudo pela Filosofia, mediante o estabelecimento de leis de funcionamento e a maneira de conhecê-las.

Nesse aspecto, Triviños (1987) apresenta algumas ideias básicas do pensar filosófico, sendo elas: (i) o conteúdo da Filosofia vincula-se e se transforma de acordo com a evolução do pensamento científico, mediante afirmações sobre o mundo natural e social e, por conseguinte, sobre o homem e sua vida; (ii) a Filosofia trata das verdades da ciência para explicar o *mundo*, ou seja, é por meio de bases científicas que é possível formular hipóteses e teorias; (iii) o ser humano é capaz de conhecer a realidade natural e social mediante estabelecimento de leis sobre o desenvolvimento desse *mundo*. A partir dessas noções, passa-se a serem desenvolvidos os demais conceitos que norteiam as ideias que alimentam a compreensão do *mundo* e do pensar filosófico. Desse modo, o indivíduo, ao observar e perceber seu entorno, apreende que nele há fenômenos e objetos, e que esses são de ordem material (aquilo que se encontra fora da consciência do ser) ou espiritual (produzido na consciência como sentimentos, pensamentos e ideias).

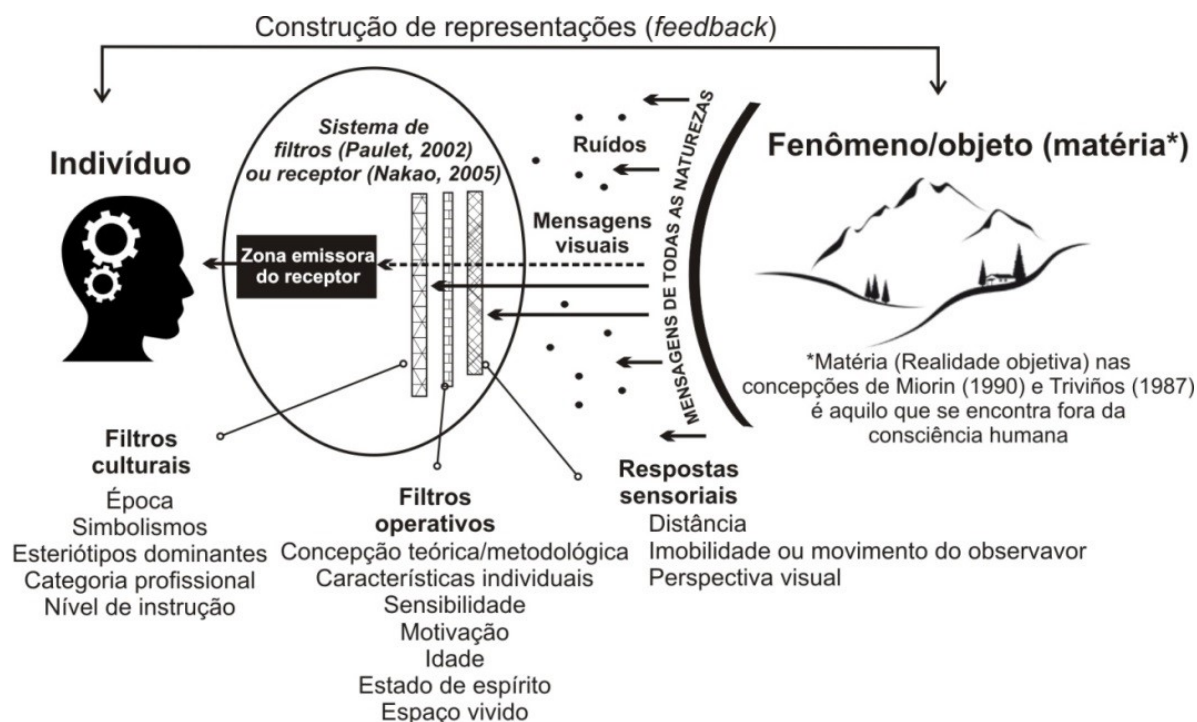
O fato de fenômenos e objetos serem entendidos como materiais ou espirituais é uma das principais divergências na maneira de se conceber o *mundo* na Filosofia, instaurando-se dúvidas sobre como se opera o pensar e ser, ou seja, quanto à ligação entre o espiritual e o material. Isto gerou duas principais escolas de pensamento na Filosofia; uma delas, o *idealismo filosófico* ou *racionalismo*, o qual propõe que a matéria é criada/concebida mediante o pensamento/consciência; ao passo que segundo, o *materialismo filosófico* ou *empirismo*, o pensamento/consciência é dado a partir do material (TRIVIÑOS, 1987; NASCIMENTO JÚNIOR, 2000; PORTUGAL, 2002). A perspectiva empirista, segundo Portugal (2002), foi proposta por Francis Bacon (1561-1626), cuja fundamentação científica é posta pela experimentação e formulação de leis, por meio da indução a partir de eventos particulares, sendo estes capazes de estabelecer generalizações; ao passo que o racionalismo teve seu marco em René Descartes (1596-1650), cujos recursos para as verdades científicas estão na razão/campo das ideias.

Para além da dicotomia, *a priori*, acerca da consciência sobre matéria ou matéria sobre consciência, ainda há discussões sobre a possibilidade do conhecimento, ou seja, se a realidade é ou não cognoscível (TRIVIÑOS, 1987; PORTUGAL, 2002), bem como sobre os critérios da verdade, quer dizer, se a verdade pode ser absoluta e objetiva, ou relativa e subjetiva, cujos critérios são estruturados conforme, por exemplo, juízos de autoridade, utilidade funcional e a prática social (TRIVIÑOS, 1987). Tais concepções tratadas pela Filosofia sobre as questões fundamentais inerentes ao indivíduo se desdobraram em diferentes teorias/métodos responsáveis por nortear e edificar os conhecimentos na ciência.

É nesse contexto que Christofolletti (1999) advoga que essa construção dos conhecimentos é pautada, principalmente, por uma práxis associada às visões-de-mundo/teorias que guiam os vários sujeitos investigadores. Essa visão-de-mundo representa a maneira como os sujeitos observam, apreendem, concebem e atribuem significações a um dado objeto e/ou fenômeno mediante o aporte, não apenas, no pensamento filosófico. Nesse aspecto, Paulet (2002), Nakao (2005) e Munari (2014) tratam do *modus operandi* na construção do pensamento do indivíduo, mediante seu contato com um dado objeto ou fenômeno. O sujeito ao observar e perceber o material, isto é, aquilo que se encontra fora de sua consciência, o faz por meio de um sistema de filtros, lentes, receptores ou fatores de seleção inerentes ao seu pensamento/consciência (Figura 12).

Esse sistema de filtros existente entre observador científico e objeto/fenômeno apreendido caracteriza a complexidade de se estabelecer como operam as relações entre as ideias e matéria, ou seja, aquilo que se processa no âmbito do indivíduo e aquilo que está fora de sua consciência. Baseado nas concepções de Paulet (2002) e Nakao (2005), entende-se que dentre a externalidade de um infinito universo de mensagens emitidas, algumas chegam até o indivíduo, sobretudo, por mensagens visuais. Essas mensagens que atingem o observador, por sua vez, não correspondem àquelas emitidas originalmente. Isto decorre de um complexo receptor inerente à individualidade da consciência/pensamento de cada sujeito.

**Figura 12:** Filtros operativos/*modus operandi* do sujeito científico em relação ao seu fenômeno/objeto observado na superfície.



**Fonte:** Elaborado pela autora; baseado em Paulet (2002) e Nakao (2005).

Para Nakao (2005) há três principais sistemas de filtragens que compõem esse receptor, sendo eles as (i) respostas sensoriais, (ii) os filtros operativos e (iii) os filtros culturais. Paulet (2002) também apresenta essas filtragens e uma variabilidade de fatores de seleção de um indivíduo ao buscar apreender sobre uma dada paisagem/objeto.

Na leitura de Paulet (2002) e Nakao (2005) entende-se que respostas sensoriais são aquelas que dependem, sobretudo, do distanciamento, da perspectiva do olhar, bem como se o referencial observado está em movimento ou parado. Ou seja, uma forma de relevo vista por um indivíduo a bordo de um avião no céu será completamente diferente daquele que se posiciona no sopé da vertente que compõem essa mesma forma. Os filtros culturais são aqueles associados, dentre uma série de variáveis, à época em que foi produzido o conhecimento, aos estereótipos sociais sobre algo, o exercício profissional, o ambiente em que os sujeitos foram escolarizados, as relações sociais, bem como os signos incorporados na consciência.

Os filtros operativos, por sua vez, são entendidos sobre as concepções de se ver e entender o *mundo*, isto é, o que significa o conceito de verdade para o sujeito. Haveria no *mundo* aquilo que se coloca nele, ou seja, a consciência/pensamento do ser humano representa sua materialidade (idealismo), ou o contrário, a consciência é formulada conforme a apreensão de uma materialidade que existe, independentemente da existência do ser e induz a criação do pensamento (materialismo)? Quais são as motivações para se realizar indagações sobre algo no espaço, ou qual o estado de espírito do indivíduo no momento da análise? Essas colocações sugerem estar atreladas ao *como* se opera o pensamento do observador científico. Nota-se que, nesse contexto, o termo *paisagem* corresponde a uma categoria analítica na Geografia, cuja definição, segundo Souza (2015), se mostra complexa e permeada de controvérsias, visto que depende exatamente dessas variáveis que moldam um indivíduo e sua maneira de ver seu *mundo*.

*Cada um vê aquilo que sabe*, essa frase de Munari (2014) sumariza o modelo esquemático de Paulet (2002) e Nakao (2005). Essa frase também remete ao acervo de signos construídos e representados por meio da linguagem visual para além da matemática, da escrita, dentre outras. Imagens rodeiam o ser humano e sempre correspondem a representações sobre algo no *mundo* que, segundo Munari (2014), quanto mais se conhece essas imagens, mais se alarga as possibilidades de contato com a *realidade*. Na linguagem visual cada representação é feita por sinais que acabam por sensibilizar o leitor/observador para um dado objeto.

Sensibilizar um sinal, na comunicação visual, é entendido por Munari (2014) como uma maneira de atribuir um aspecto gráfico ao sinal, no qual este pode, então, assumir sua própria 'personalidade'. Isto é, ainda que objetos compartilhem de características semelhantes, sua representação se torna única. Nas geociências, isso pode ser entendido pelo uso da linguagem visual para representar um dado objeto na paisagem, ou seja, dois indivíduos que observam uma mesma forma de relevo e fazem sua respectiva representação em um papel, ou de maneira computacional, podem revelar traços e aspectos bastante diferentes entre si. O mesmo ocorre na cartografia da superfície, em que cada mapa confeccionado se torna único em um universo de representações.

A leitura da figura 12 sugere, ainda, que haja um constante diálogo entre sujeito e objeto/fenômeno, nos quais existe a materialidade de algo no espaço independente da consciência do indivíduo que, à medida que este o observa, imediatamente atribui significações. Estas, por sua vez, são estruturadas conforme arcabouço não apenas científico construído na formação social do indivíduo, como também o relativismo do tempo e espaço ao enxergar seu objeto/fenômeno. Esse diálogo remete às concepções de Immanuel Kant (1724-1804) que no século XVIII, segundo Portugal (2002), buscou conciliar as duas doutrinas, e apresentou a maneira *empírico-racionalista* de conceber o mundo. Para esse modo de pensar o conhecimento tem seu início pela experiência, o material, mas sem se limitar a ele, na qual a razão é capaz de derivar a conceitos no campo apenas das ideias.

Nas geociências uma das principais maneiras de se investigar a superfície envolve a apreensão, pelo sujeito, de uma dada materialidade de objetos/fenômenos na paisagem. Nessa busca do sujeito pela compreensão do espaço, ainda que se busque por certezas, não deixa de ser uma ciência feita principalmente de maneira subjetiva em virtude do já apresentado por Paulet (2002) e Nakao (2005) (Figura 12). No caso da geomorfologia, conforme advogou Barros (2013), o fazer ciência significa ter clareza sobre as escalas espaço-temporais que se investiga, bem como o comportamento processual de fatos que culminam à elaboração do modelado do relevo. Em virtude da natureza dos objetos e fenômenos investigados pela geomorfologia, o método empregado por essa ciência se aproximou principalmente de concepções positivistas.

Segundo Triviños (1987), o positivismo implica que o espírito humano deve investigar aquilo que seja possível de ser conhecido, ou seja, eliminando causas últimas ou primeiras, ou não interessando o *porquê* dos fenômenos, mas sim o *como* operam as relações entre os fatos ou uma coleção destes. Nesse aspecto advogou-se ser possível exprimir a neutralidade científica, na medida em que se estudam os fatos com vistas a conhecê-los de modo desinteressado das consequências de suas descobertas. O positivo ainda pretende guiar a humanidade para as certezas e à precisão e considera como verdadeiro somente o que pode ser validado empiricamente. Entende-se, desse modo, que os fenômenos tanto naturais quanto

sociais são regidos por leis universais, imutáveis e que podem ser quantificados (TRIVIÑOS, 1987).

Essa corrente de pensamento tem sua expressão inicial em Auguste Comte (1798-1857), a qual se desdobra em três principais momentos de evolução; a primeira denominada positivismo clássico, em seguida, no final do século XX, o empiriocriticismo de Avenarius (1843-1896) e Mach (1838-1916), e, mais tarde, o neopositivismo e suas variações como o positivismo lógico, o empirismo lógico, o atomismo, a filosofia analítica, o behaviorismo, o pragmatismo, dentre outras (TRIVIÑOS, 1987). Nesse aspecto, o positivismo clássico seria a principal corrente que tem guiado a construção dos conhecimentos na geomorfologia dada suas características ainda racionais, mediante o aporte de procedimentos e modelos passíveis de serem testados.

Enquanto a corrente positivista tem imperado sobre a análise geomorfológica, Nascimento Júnior (2002), por sua vez, sugere que há uma tendência das ciências naturais se aproximarem do materialismo dialético, ou marxista nas palavras de Triviños (1987). Essa corrente de pensamento, segundo Triviños (1987), possui pelo menos três fases históricas, sendo seu início com Karl Marx (1818-1883), seguido por Marx em conjunto de Friedrich Engels (1820-1895) e a terceira por Vladimir Lênin (1870-1924) na União Soviética, além de compreender três principais aspectos, sendo esses o materialismo dialético, o materialismo histórico e a economia política.

Conforme advogou Miorin (1990), a abordagem dialético-materialista é teoria e método, isto é, o materialismo representa o aspecto teórico enquanto a dialética figura o método. Essa abordagem possui a primazia do real (o ser) sobre seu conhecimento e que esses são distintos, bem como considera que o mundo está em constante estado de movimento, transformação e desenvolvimento. Nesse movimento a matéria, sendo essa considerada realidade objetiva, nunca surge ou desaparece do nada, mas sim se transmuta. A matéria ainda é multifacetada e possui propriedades fundamentais que caracterizam os objetos e fenômenos, ou seja, representam seus atributos. Ao perder os atributos o próprio objeto deixa de existir e é substituído por outro proveniente dele, porém, distinto, por meio do

movimento contínuo da inter-relação entre espaço e tempo. Esse movimento, por sua vez, resulta, e é resultado, de contradições internas existentes em todo objeto e fenômeno, nas quais as transformações se operam pela ‘acumulação gradual de mudanças quantitativas insignificantes’ que, por sua vez, se desdobram em ‘mudanças qualitativas subitamente’ (MIORIN, 1990).

Outro conceito associado ao materialismo dialético se refere à relatividade do tempo e do espaço, isto é, o movimento em si é absoluto, mas sua percepção é sempre relativa por meio dos objetos e fenômenos. Desse modo as realidades objetivas (materiais) são determinadas pelo tempo e espaço, cuja existência ocorre mediante objetos e fenômenos, sendo suas características espaço-temporais despontadas pelo movimento do tempo e do espaço enquanto entidade única (MIORIN, 1990). Tempo e espaço foram visto como elementos distintos por Isaac Newton (1643-1727), nos quais é possível mensurá-los de maneira separada, o que ocorre diferentemente com Albert Einstein (1879-1955) ao advogar que tempo e espaço são duas facetas de um mesmo movimento (GUY, 2009).

Para haver um fenômeno é necessário haver espaço e tempo que, por sua vez, é necessário movimento. Um fenômeno, nesse aspecto, possui uma amplitude de movimento (o espaço) e um processo de movimento (o tempo) e não faria sentido um aspecto desvinculado de outro, pois, espaço e tempo constituem duas faces do mesmo movimento e sempre são relativos em relação a algo (GUY, 2009). Um exemplo dado por Guy (2009), que ilustra essa relatividade, é em relação à perspectiva geológica, quer dizer, se o tempo humano possuísse um ritmo muito mais lento, seria, portanto, capaz de perceber as formas de relevo movimentando-se como ondas no mar. Essa perspectiva seria, então, uma maneira de se definir o tempo, bem como o espaço, sendo ambos definidos de maneira relativa.

Uma das razões que prejudicaram a divulgação e a práxis do materialismo dialético se deve aos fatos históricos que culminaram na repulsa dos ideais de Hegel e Marx, sobretudo por Stálin e seu grupo de pesquisadores na União Soviética. Stálin retirou a capacidade crítica da dialética colocando-a a serviço da propaganda. Desse modo, tornou esse método mais próximo das concepções positivistas ao identificar o “subjetivo” como “arbitrário” e o “objetivo” ao “científico” (NASCIMENTO

JÚNIOR, 2000). Um contexto histórico social interferir no desenvolvimento de diferentes maneiras de se apreender o *mundo* é como um atraso para a ciência.

Na evolução das concepções sobre ciências naturais há um progressivo distanciamento entre ideais determinísticos na natureza, além de se reconhecer que há princípios contraditórios nos fenômenos naturais. Para Nascimento Júnior (2000) o paradigma que figura a atual ciência moderna e ocidental, nascida com Descartes e Newton e encerrada em Einstein, consiste em separar sujeito de objeto, espírito de matéria, reduzir o complexo para algo simples, desconsiderar as exceções e o aleatório, além de não ser mais suficiente somente o pensamento lógico e de experimentação. A dialética se aproximaria, então, desse paradigma mediante suas leis e categorias que lidam com as infinitudes de contradições existentes. Notadamente, esta perspectiva apontada por Nascimento Júnior (2000), de certo modo, se aproxima daquilo que, até então, o positivismo se aproximou.

De maneira geral, uma maneira para se perceber o quanto uma corrente teórica pode interferir diretamente nas percepções de *mundo* consiste na execução de trabalhos de campo. Segundo Suertegaray (2002a), no método positivista o campo (realidade concreta) se encontra externo ao sujeito, sendo o conhecimento/verdade presente no objeto, ao passo que para o materialismo dialético o campo é uma extensão do sujeito, sendo sua apreensão uma interação dialética entre sujeito e objeto/fenômeno. Esta comparação evidencia como se estruturam essas duas principais abordagens e a maneira como estas guiam o pensamento filosófico. Nesse contexto, resta ao sujeito - no caso, ao observador científico - que se aventura na investigação geomorfológica estruturar seu pensamento intelectual e se alinhar à execução adequada dos métodos em que pretenda se aportar. Que, para este trabalho, lança-se por aportes de concepções positivistas, dados as metodologias de investigação, porém considerando que pode haver múltiplas contradições ser analisado o objeto.



# ***CAPÍTULO 3***

## **ARTIGO / MÓDULO 1**

### **ORGANIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA REGIONAL DA BACIA DO CÓRREGO SUJO: A SUPERFÍCIE ENQUANTO PALIMPSESTO DE UMA EVOLUÇÃO MULTIESCALAR NO TEMPO-ESPAÇO**

## Capítulo 3 - Artigo 1

# ORGANIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA REGIONAL DA BACIA DO CÓRREGO SUJO: A SUPERFÍCIE ENQUANTO PALIMPSESTO DE UMA EVOLUÇÃO MULTIESCALAR NO TEMPO-ESPAÇO

### Resumo

As investigações sobre os componentes que estruturam a superfície terrestre são escopo, sobretudo, da Geomorfologia, mediante a análise entre formas, processos e materiais derivados de múltiplas escalas espaço-temporais. Para este trabalho foi escolhida a zona de transição geológica entre duas diferentes unidades geológicas, isto é, a bacia sedimentar do Grupo Bambuí e o escudo exumado do complexo cristalino de Belo Horizonte, em Vespasiano, Minas Gerais. Nesse contexto de transição foi observada a recorrência de coberturas coluviais integradas por fragmentos grossos de quartzo que podem chegar até a 30cm de diâmetro. A partir desses materiais formulou-se a principal questão norteadora deste trabalho: qual o significado geomorfológico dessas coberturas superficiais? A distribuição espacial desses materiais ocorre principalmente no domínio da bacia hidrográfica do Córrego Sujo, este um afluente do ribeirão da Mata que deságua no rio das Velhas. Para execução das investigações foram realizados procedimentos de gabinete e campo, cujos resultados foram traduzidos em um mapeamento geomorfológico em escala 1:25.000 que sumariza os compartimentos topográficos regionais, formas modeladas, materiais e processos. Em conjunto a esse mapa foram elaborados transectos sobre a organização topográfica regional, a morfologia das margens do vale do córrego Sujo e seu respectivo perfil longitudinal fluvial. Para as coberturas superficiais foram identificados suas principais estruturas, representadas em seção vertical e plotadas em seu respectivo contexto geomorfológico. A rede hidrográfica foi analisada por meio de observações de campo, fotografias aéreas, imagens orbitais e técnicas de geoprocessamento. Nesse contexto, esta pesquisa identificou diferentes componentes que arquitetam a atual bacia hidrográfica do córrego Sujo. A partir das interpretações foi formulada a proposta de um modelo sobre a morfogênese que estruturou o atual perímetro da bacia e a organização de suas coberturas superficiais. Esse modelo é composto de três principais etapas, nas quais apresentam as principais condições morfodinâmicas ocorridas ao longo do tempo, que variam em intensidade e reflexo na maneira como os materiais são reorganizados na superfície. Nesse contexto, a primeira etapa representa um maior recuo temporal, além de ser a que possui menos testemunhos sobre a organização geomorfológica da área. A segunda etapa compreende um momento de maior energia morfodinâmica capaz de dissecar a superfície de maneira mais intensiva, além de contribuir para a organização dos cascalhos de quartzos na bacia. A terceira fase, por sua vez, representa o momento atual cuja rede hidrográfica encontra-se com seus vales generalizadamente solapados, cujas coberturas colúvio-aluviais investigadas possuem relativa contribuição biogeoquímica *in situ* sobre seus materiais.

**Palavras-chave:** Geomorfologia; Cobertura pedológica; Morfogênese

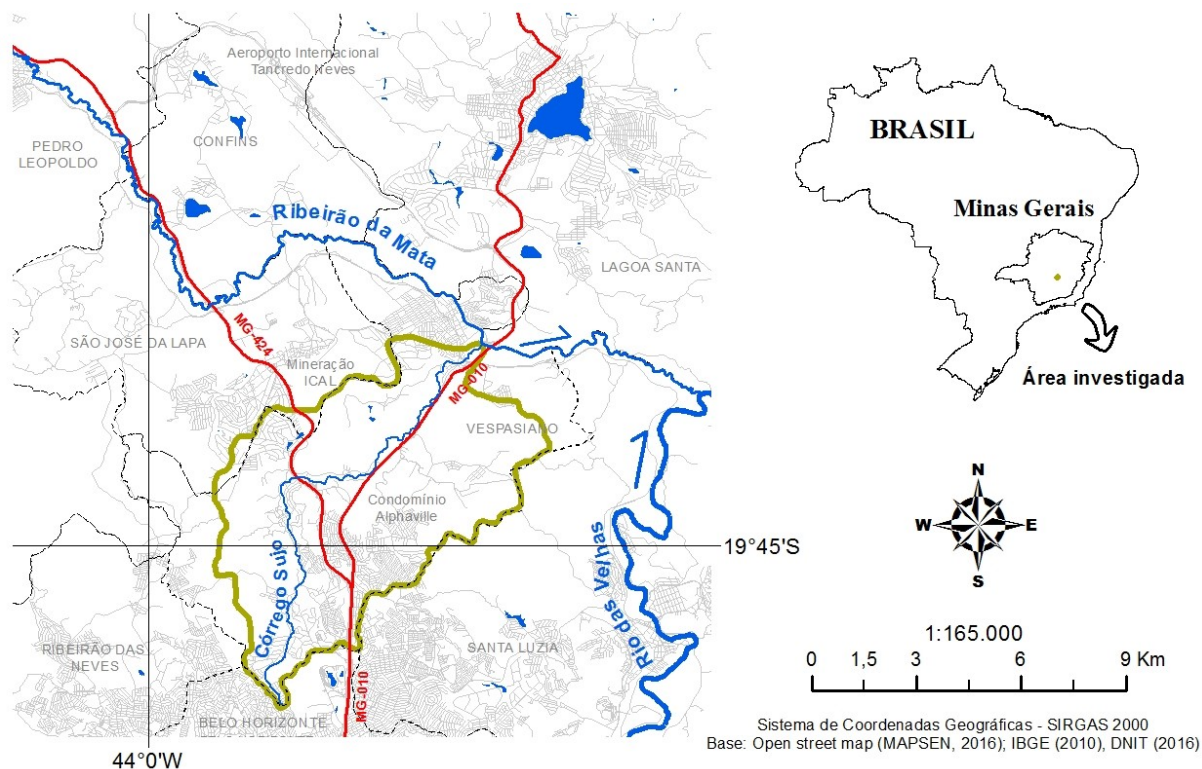
## **3.1 Introdução**

### ***3.1.1 Contextualização geral***

As interações entre variados componentes espaciais que integram o meio físico, tais como as coberturas superficiais, o arcabouço geológico, a rede hidrográfica e o meio biótico, são alguns dos vários elementos que se transformam e se reorganizam mediante uma multiplicidade de processos (CHRISTOFOLETTI, 1999; SCHAEFER, 2001). Tal fenômeno de transformação pode, também, esculpturar as formas do relevo na superfície. Formas são um dos componentes que estruturam uma dada paisagem, todavia, os estudos das formas e suas gêneses necessitam da investigação dos materiais que as compõem, isto é, não haveria formas se não houvessem uma dada materialidade estruturada, sobretudo, pelas rochas e por suas coberturas superficiais. Formas também são modeladas principalmente mediante disponibilidade hídrica, cuja água pode estar arranjada tanto em superfície quanto em subsuperfície, por meio de redes interconectadas em contato direto com materiais que, por sua vez, são transformados geoquimicamente. Formas são elaboradas pela transformação e mobilização de materiais, e formas também condicionam a maneira como os materiais são transformados e mobilizados. As formas podem ainda estar desconectadas dos processos que transformaram seus materiais. Isso quer dizer que as formas de relevo observadas são o momento presente de uma dada complexidade de interações na superfície, nas quais o que guarda o registro de fenômenos passados são, sobretudo, seus materiais.

Nesse contexto, este capítulo 3 tem como área de estudo a bacia hidrográfica do córrego Sujo (Figura 13), a qual envolve uma marcada transição geológica entre as coberturas de rochas sedimentares do Grupo Bambuí, ao norte, e o embasamento cristalino arqueano do Complexo Belo Horizonte ao sul. Para além do componente geológico, essa bacia apresenta variabilidade tanto em sua organização morfológica do relevo quanto nos materiais que integram e esculpturam a superfície topográfica.

**Figura 13:** Localização da bacia hidrográfica do córrego Sujo.



Mediante observações de campo, a investigação dessa bacia hidrográfica é realizada por meio da seguinte questão norteadora: qual o significado geomorfológico da recorrência de fragmentos grossos de quartzo subarredondados a subangulares encontrados nas coberturas superficiais dessa bacia? A partir dessa questão norteadora este trabalho objetiva sistematizar e apreender sobre a organização desses materiais na bacia, bem como compreender seu significado a partir de uma reconstituição geomorfológica. Para isso seguem-se as seguintes metas: (i) mapeamento geomorfológico em escala de detalhe da bacia e imediações; (ii) investigação sobre as principais organizações das coberturas superficiais encontradas nos domínios da bacia do córrego Sujo, (iii) análise sobre a organização da rede hidrográfica e a maneira como pode ter dissecado a superfície.

### **3.1.2 O que se sabe sobre as coberturas pedológicas**

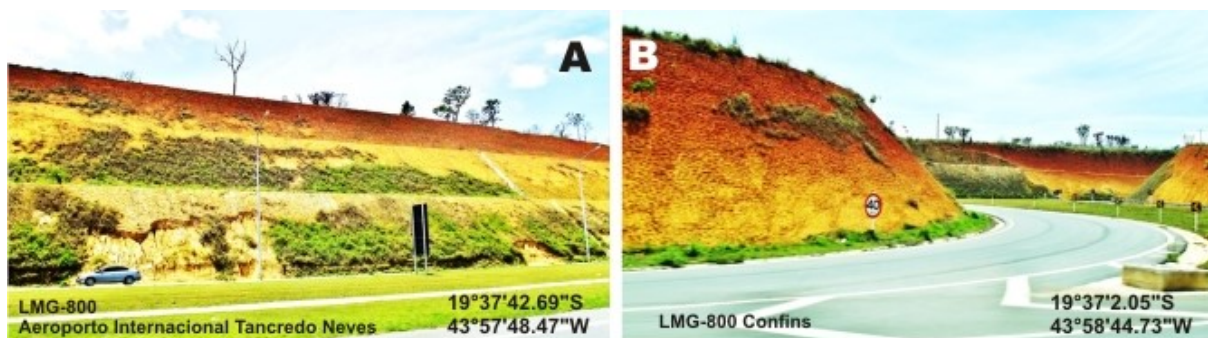
Para esta pesquisa, o trabalho campo foi essencial para o desenvolvimento das investigações sobre os materiais inconsolidados, além de haver na literatura um aporte de várias pesquisas desenvolvidas para o mesmo contexto ambiental, o carste de Lagoa Santa. As coberturas superficiais nessa área são significativamente

espessas, conforme observado em taludes de até 20 m, bem como apresenta relativa coesão e estruturação pedológica de seus materiais constituintes, sobretudo quanto aos finos. Nessas coberturas também há concentrações de fragmentos grossos de quartzo que assumem características típicas de *stoneline*, segundo descrições morfológicas de Ab'Saber (1962), Segalen (1969), Penteado (1969), Riou (1990), Hiruma (2007) e Santos et al. (2010).

Piló (1998) corrobora da assertiva sobre considerável espessura ao constatar materiais inconsolidados que podem alcançar até cerca de 80 m, sem que se atinja o arcabouço geológico, sendo suas observações realizadas no empreendimento da Cimento Mauá, em Matozinhos. Para o autor, em razão da elevada pureza dos calcários do Membro Lagoa Santa, as coberturas pedológicas seriam rasas e inexpressivas. Lamouroux (1972) chegou a realizar cálculos de laboratório que indicaram que, em uma situação ideal, para se formar 30 cm de solo sobre o calcário seria necessário pelo menos a alteração de 500 cm de rocha calcária primária. Nesse aspecto, em uma relação direta seriam necessárias pelo menos 416 m de rocha para se formar coberturas pedológicas de 25 m de espessura. Essa situação se contradiz com a realidade em razão do pacote estratigráfico dos calcários não atingirem espessuras maiores que 200 m (PILÓ, 1998).

Para explicar essa situação Piló (1998), associa os metapelitos da Formação Serra de Santa Helena como elementos que forneceram impurezas aos calcários e, por conseguinte, favoreceram o expressivo desenvolvimento das coberturas superficiais. Análises mineralógicas revelaram, por sua vez, a presença de quartzo, turmalinas verde e preta, rutilo, granada e pirita, bem como fragmentos de filito em meio aos materiais inconsolidados, o que não condiz com os minerais presentes nos calcários do Membro Lagoa Santos, à exceção da pirita (PILÓ, 1998). Nesse contexto, sendo comum um expressivo desenvolvimento vertical das coberturas inconsolidadas e sendo raros os afloramentos de rocha em superfície, observou-se no campo um comportamento recorrente em relação aos aspectos macroscópicos dos materiais: a porção superior das coberturas superficiais geralmente assume cor avermelhada (2,5YR - Vermelho vivo a 7,5YR - Bruno forte), tornando-se cada vez mais amarelada (10YR) em profundidade (Figuras 14A e 14B).

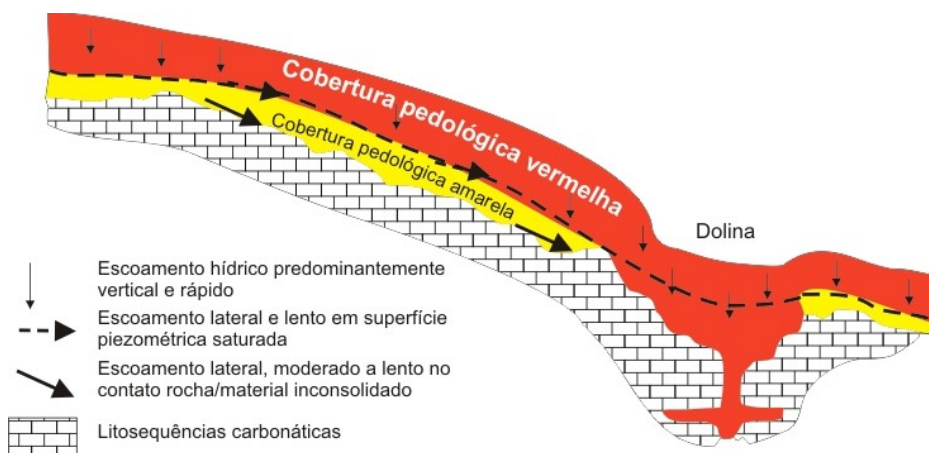
**Figura 14:** Organização vertical de coberturas superficiais na área percorrida.



Essa organização foi observada por Lanari (1909), Lund (1950), Kohler (1989), Boulet et al. (1992), Piló (1998), Shinzato (1998) e Hoffman (2014), na qual se expressa, também, em escala micromorfológica, de modo que seus constituintes possuem diferentes organizações estruturais e de composição. A porção superior avermelhada possui aspectos típicos de horizonte B e apresentar estruturação de blocos subangulares, friabilidade, microagregação, e consistência plástica. A porção inferior amarela, por sua vez, revela características que se aproximam de um horizonte C ou alterita, ou seja, menor porosidade, textura silto-argilosa e alguns fragmentos de minerais primários a depender da profundidade possível de se observar os materiais. Para Boulet et al. (1993) ambas unidades estão em equilíbrio pedodinâmico com as atuais condições climáticas, dada a disposição desses dois principais compartimentos serem relativamente paralelos à superfície topográfica, cuja evolução tem suficientemente contínua e sem grandes perturbações no tempo.

Apesar da diferenciação na cor, as coberturas superficiais possuem, em geral, avançado grau de intemperismo em que prevalece composição caulinita-gibbsita, segundo Melfi e Pedro (1977). As cores, por sua vez, estão diretamente associadas à hidrólise de íons  $Fe^{3+}$ , cuja desidratação favorece a formação de hematita e, por consequência, resulta na cor vermelha. Na porção amarela, por sua vez, a hidrólise ocorre de maneira mais lenta dado constituir ambiente mais hidratado que tende a gerar goethita (PILÓ, 1998) (Figura 23). Essa relação hematita e goethita decorre da circulação hídrica na seção que, nesse caso, se faz mais lentamente na porção amarela, dada sua menor porosidade e composição silto-argilosa (Figura 15).

**Figura 15:** Representação esquemática sobre o comportamento hídrico geral intraperfil e resposta morfológica em seção vertical.



**Fonte:** Adaptado de Piló (1998).

Essas características dicotômicas que diferenciam esses materiais não ocorrem em todos os taludes observados em campo, seja em razão de não se atingir profundidade suficiente para se perceber tal diferenciação (Figura 16), seja pelo decapeamento da porção superior dos materiais, ou mesmo por realmente não ser o comportamento das coberturas nos taludes observados (Figuras 16).

**Figura 16:** Aspectos das coberturas superficiais observadas em campo.



Uma outra característica relativamente comum às coberturas superficiais na área é a presença de *stonelines* de quartzo (Figura 17). Os principais acervos teórico-conceituais sobre cascalheiras, e suas possibilidades de interpretações, são

apresentados no Capítulo 2, item 2.2 ‘Os horizontes cascalhentos, *stoneline*’. Para o caso das *stonelines* pertencentes a área de estudo e seu entorno, constata-se, para tanto, que seu posicionamentos em seção vertical, por vezes, coincidem com a transição entre a porção inferior amarela e a superior vermelha. Por vezes esses fragmentos também são encontrados completamente inseridos na porção avermelhada, ou completamente na amarelada. Na maioria dos recortes observados, a distribuição lateral desses materiais grossos ocorre de maneira subhorizontalizada e concordante à superfície topográfica, porém, em alguns locais essas a truncam perpendicularmente (Figuras 17C e 17D), ou apresentam segmentos retilíneos (Figura 17B). O tamanho dos cristais também é variáveis.

**Figura 17:** Organização lateral de algumas *stonelines* observadas em campo.

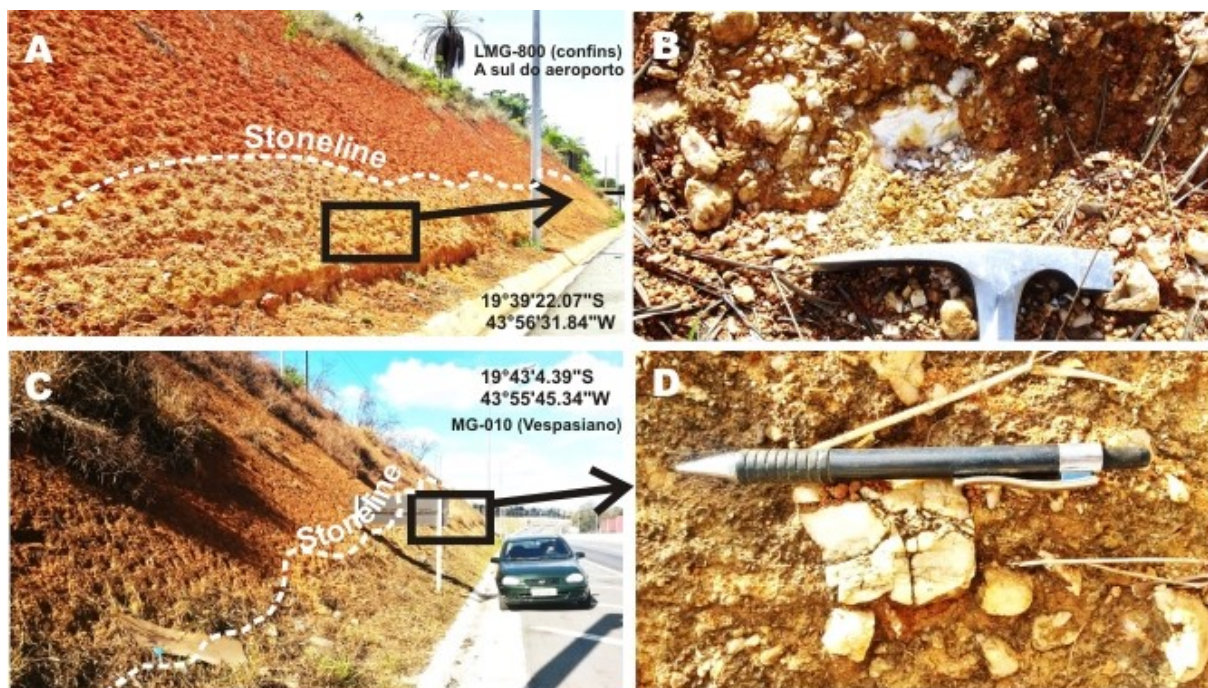


Um aspecto relacionado a esses quartzos se refere à sua resistência e angularidade entre diferentes *stonelines*. Na rodovia MG-010, nas imediações do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, um recorte lateral das coberturas revela espessa *stoneline* (Figura 18A), cujos quartzos são bastante quebradiços ao mínimo esforço, bem como apresentam arestas subangulares (Figura 18B). Nessa mesma rodovia, em Vespasiano, em frente ao posto Ipiranga, os quartzos (Figura 18C), por sua vez, são bastante resistentes à quebra, necessitando martelo geológico para fragmentá-los, além de exibirem arestas



geralmente subarredondadas (Figura 18D). A estrutura cristalina dos quartzos observados, por sua vez, é bastante fraturada.

**Figura 18:** *Stonelines* morfologicamente semelhantes, que exibem diferenciada resistência de seus materiais constituintes.



Conforme advogou Hoffman (2014), há distintas hipóteses para explicar a gênese desses fragmentos grossos de quartzo organizados em *stonelines*. Uma dessas hipóteses as associa a paleosuperfícies, recobertas posteriormente por materiais avermelhados durante período úmido no Holoceno. Essa hipótese é defendida por Bacellar et al. (2005) a partir da análise de depósitos coluviais localizados em paleovoçorocas, e por ciclos geomorfológicos recentes segundo Coelho Netto (1999). Segundo Hoffman (2014), os quartzos possuem proveniência das sequências litoestratigráficas que compunham a formação Serra de Santa Helena. Essas *stonelines* também são interpretadas como limite entre materiais coluviais e eluviais (MUGGLER e BUUMAN, 2000; LACERDA, 2007; HOFFMAN, 2014), bem como ainda podem ser concebidas pela bioturbação (JOHNSON et al., 2005).

Kohler (1989) ainda descreve sobre *stonelines*, sendo algumas delas situadas às margens da rodovia MG-010, em Vespasiano, seção lateral investigada neste trabalho, e atribui sua gênese a depósitos detríticos, possivelmente terciários,

provenientes de desmontes de coberturas lateríticas miocênicas, ou seja, remanescentes da Superfície Sul-Americana de King (1956), atualmente ainda preservada em algumas áreas no município de Confins e na Serra dos Ferradores, localizada na margem esquerda do ribeirão da Mata. Suas descrições sobre as características e organização desses materiais corroboram com que foi observado em campo, sendo seu relato:

“Em cortes da rodovia Belo Horizonte - Confins, próximo a Vespasiano, paralelo ao Córrego Sujo, foram observadas sequências de depósitos detríticos, constituídos em sua maioria por seixos heteromórficos de quartzo, de arredondados a fibrosos (típicos de veeiro), nunca maiores que 5cm, em distribuição aleatória, dentro de matriz silto-arenosa, de característica intraformacional. (...) a topografia dos depósitos em relação com o relevo atual, pode revelar idades pré quaternárias (Terciário?) para tais materiais” (Kohler, 1989, p.26).

Notadamente com essas descrições percebe-se que são realizadas caracterizações sobre os aspectos dos materiais vistos em campo em associação a possíveis interpretações sobre gênese e evolução. Kohler (1989), nesse sentido, para apresentar suas interpretações, recorreu a procedimentos mediante aporte teórico sobre concepções individuais sobre os materiais inconsolidados na região do carste de Lagoa Santa.

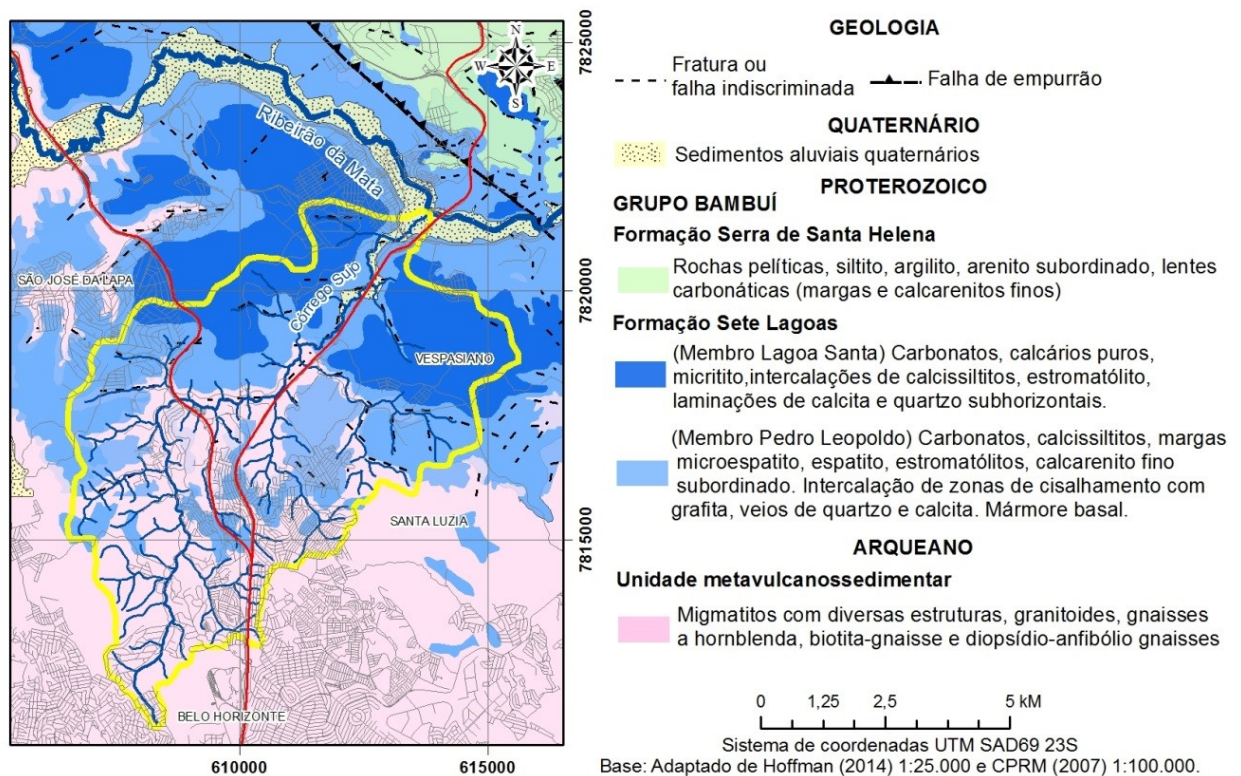
### ***3.1.3 Arcabouço geológico da área investigada e entorno***

Em âmbito geológico, a borda sul do carste de Lagoa Santa está edificada por uma transição regional entre as sequências sedimentares da formação Sete Lagoas e o embasamento cristalino exumado de Belo Horizonte, na área drenada pela bacia hidrográfica do córrego Sujo, ao passo que, ao norte, o Planalto de Confins está modelado principalmente pela formação Serra de Santa Helena (Figura 19).

O córrego Sujo tem seu curso drenado sobre o complexo cristalino a partir de sua cabeceira em um sentido S-N até uma forte inflexão W-E em seu médio curso (Figura 13). Esse embasamento corresponde a uma unidade basal pré-cambriana bastante fraturada, cujos litotipos possuem composição por variados tipos de gnaisses e granitos formados por volta de 3,0-2,9 Ga, em que suas assinaturas geoquímicas e estruturais refletem semelhanças a suítes tonalito-trondhjemitó-

granodiorito (TTG) (NOCE, 1997). O aspecto predominante dos gnaisses se mostra em cor cinza claro e apresenta migmatização. Possuem fino bandamento resultante de alternâncias entre bandas leucocráticas e outras mais ricas em minerais máficos, além de biotita, cloritas e/ou mica branca e anfibólio (hornblenda) subordinado (NOCE et al., 1997). Os gnaisses são geralmente cortados por corpos intrusivos de natureza félsica representado por granitoides neoarqueanos (2,7 Ga) que, por sua vez, foram intrudidos posteriormente à migmatização do Gnaiss Belo Horizonte (ca. 2860 Ma) (NOCE et al., 1997).

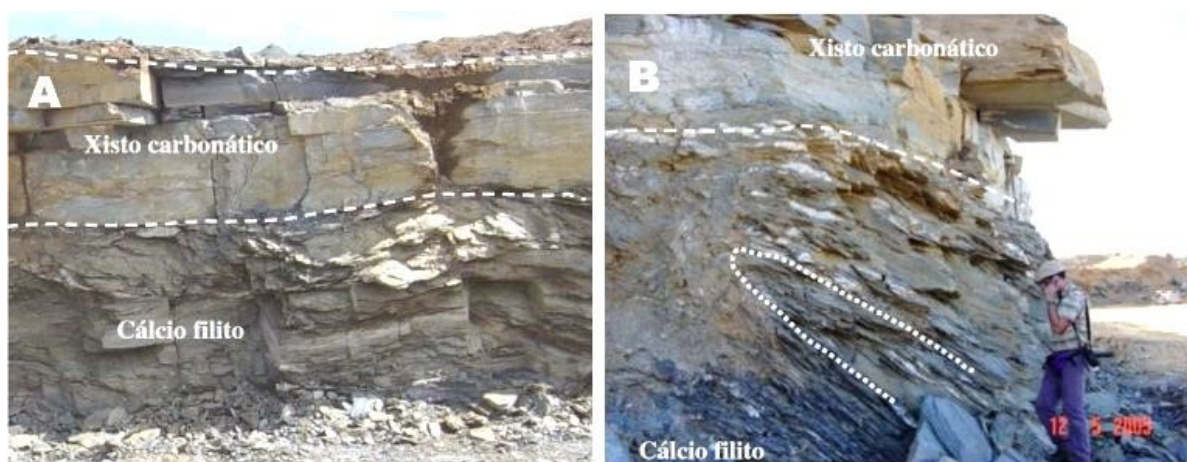
**Figura 19:** Arcabouço geológico da bacia hidrográfica investigada e suas imediações.



A partir de seu médio curso, o córrego Sujo passa a drenar o domínio da formação Sete Lagoas em um sentido SW-NE. Essa formação pode ser dividida em dois membros: o Pedro Leopoldo e o Lagoa Santa. O primeiro corresponde à porção basal do Grupo Bambuí e é integrado principalmente por cálcio-filitos, xistos e filonitos sendo os cálcio-filitos geralmente normalmente dobrados, deformados e, às vezes, marmorizados (PESSOA, 2005). Nesse Membro também ocorrem intercalações de veios hidrotermais de quartzo em meio a uma massa escura de material carbonoso. Essa massa, segundo Pessoa (2005), está associada a uma

fricção por transporte e arraste tectônicos de materiais entre os estratos, o que foi responsável por 'queimar' os carbonos claros, sendo essa massa comumente encontrada em zonas de maior deformação do Membro. Os xistos carbonáticos, por sua vez, tiveram a intensidade de sua deformação mais branda em virtude da maior concentração de quartzos em sua composição. Em relação à área percorrida, o Membro Pedro Leopoldo aflora ao longo do talvegue do córrego Sujo (Figura 20).

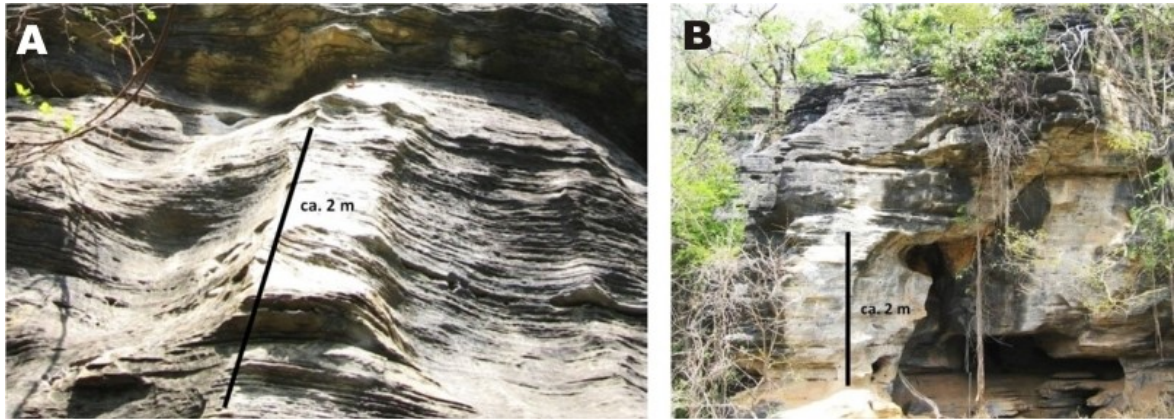
**Figura 20:** Sequências de xisto carbonático sobre cálcio-filito carbonoso dobrado.



**Fonte:** Adaptado de Pessoa (2005).

O Membro Lagoa Santa estrutura parte dos divisores hidrográficos da bacia do córrego Sujo, cuja composição litológica é integrada por calcários calcíticos, de pureza superior a 90% de  $\text{CaCO}_3$  segundo Piló (1998). Esses litotipos possuem maior vulnerabilidade frente às interações hídricas visto que tais interações favorecem a dissolução geoquímica de seus componentes. As rochas desse Membro apresentam aspecto maciço e cor geralmente cinza escuro, na qual a organização de seu acamamento ocorre de maneira sub-horizontal com mergulhos por volta de 5 a 10 graus (Figura 21). Por vezes, ocorrem veios de calcita remobilizada entre os estratos, o que realça a atitude da estratigrafia (PILÓ, 1998).

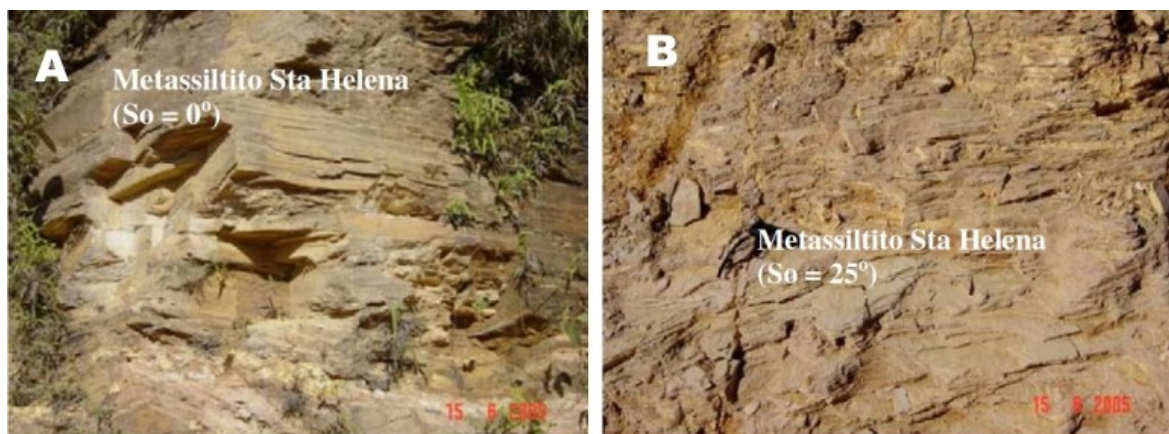
**Figura 21:** Afloramentos do Membro Lagoa Santa



**Fonte:** Adaptado de Hoffman (2014).

A Formação Serra de Santa Helena, por sua vez, compreende sedimentos de composição siliciclástica, com rara presença de carbonatos. São rochas metapelíticas constituídas por argilitos e siltitos intercalados a lentes de margas e calcarenitos finos, bem como arenitos subordinados (Figura 22). Conforme Hoffman (2014), essa formação se encontra bastante intemperizada na região, o que resulta em contatos pouco nítidos com a Formação Sete Lagoas. Em algumas áreas Pessoa (2005) mostra que os metassiltitos estão intercalados por veios de quartzo.

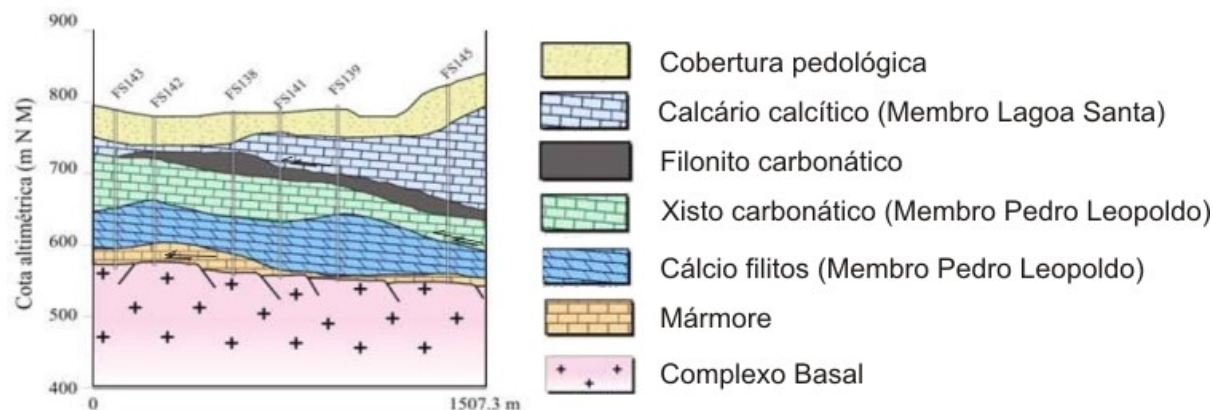
**Figura 22:** Aspecto geral dos metassiltitos da Formação Serra de Santa Helena.



**Fonte:** Adaptado de Pessoa (2005).

Nesse contexto, segundo Pessoa (2005), a coluna litoestratigráfica para a área percorrida possui a sequência de materiais sedimentares neoproterozoicos suportados por uma unidade basal arqueana (Figura 23).

**Figura 23:** Sequências litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico da área percorrida e investigada.



**Fonte:** Adaptado de Pessoa (2005).

O mármore representado na Figura 23, bem como as falhas e descontinuidades mostradas no mapa geológico (Figura 19), relacionam-se, sobretudo, ao regime tectônico regional compressivo que deu origem ao orógeno do Espinhaço. Este regime corresponde a cinturões de calvalgamentos e dobramentos (*Fold-thrust-belts*) responsáveis pela edificação do orógeno do Espinhaço, no Pré-Cambriano, refletindo diretamente na bacia sedimentar adjacente. As propagações de falhas inversas de baixo ângulo ao longo de grandes extensões, descontinuidades crustais nas rochas e as recristalizações de minerais sedimentares são alguns dos componentes geológicos que condicionaram, mais tarde, a dissolução geoquímica das rochas carbonáticas mediante o arranjo da rede hidrográfica. Nesse contexto é recorrente encontrar nas sequências sedimentares estruturas planares bem marcadas por conjuntos de planos de fratura, foliações ( $S_n/S_1$ )<sup>1</sup> e rampas de empurrão, que promoveram o cavalgamento de litotipos basais sobre sequências estratigráficas superiores. Em alguns pontos ainda é possível observar calcários calcíticos do Membro Lagoa Santa cavalgados sobre o xisto carbonático e/ou cálcio-filito do Membro Pedro Leopoldo.

### **3.1.4 Geomorfologia: formas do relevo, materiais e processos**

O que se observa pelo caminhamento de campo figura uma organização espacial de unidades de planaltos, depressões e planícies situadas em torno de 800 a 900 m de altitude, cujas vertentes possuem geometria principalmente convexa de

superfície topográfica relativamente regular integrada por espessas coberturas superficiais, e raros os afloramentos litológicos (Figura 24).

**Figura 24:** Organização das formas de relevo na área investigada e entorno.



O relevo na região do carste de Lagoa Santa e suas fronteias com o Complexo Belo Horizonte pode ser entendido pela perspectiva de sua morfogênese. A escala espaço-temporal nessa perspectiva preconiza, sobretudo, maiores recortes dimensionais da superfície e maior recuo no tempo geológico (MATTOS e SOUZA, 2010). Segundo Vitte (2008), nessa escala de abordagem ocorreram duas principais fases de concepções teórico-metodológicas de investigações na geomorfologia brasileira, sendo a primeira fundamentada por percepções tratadas pela teoria do ciclo geográfico de Davis (1899), seguida pela teoria da pediplanação de King (1956), após a metade do século XX. Essas duas principais abordagens tratam de modelos evolutivos regionais que visam explicar o porquê da atual organização das formas de relevo.

Os traços fisiográficos do relevo na área investigada comumente são associados ao modelo policíclico de denudação regional de King (1956), o qual propõe que durante o ciclo Sul-Americano (Terciário inferior; ~60 Ma) teve início o esboço das formas atuais, seguido do ciclo Velhas no Terciário superior (~20 Ma),

este responsável por gerar a maior parcela do modelado do relevo observado atualmente. Para King (1956), o ciclo Sul-Americano esculpiu regionalmente uma vasta uniformidade topográfica mediante aplainamento por pediplanação, conforme ocorriam retrações laterais de superfícies pretéritas provenientes dos ciclos Gondwana e post-Gondwana de idade cretácea. O ciclo denudacional Velhas, por sua vez, teria gerado superfícies mais onduladas a partir da incisão vertical do rio das Velhas e seus afluentes. A superfície post-Gondwana, sendo esta anterior à Sul-Americana, atingiu intensidade de aplainamento maior que o observado nos ciclos Sul-Americano e Velhas, sendo possível encontrar raros testemunhos de cascalhos antigos no município de Pedro Leopoldo (KING, 1956).

Nessa concepção de King (1956), Kohler (1989) apresenta a Serra dos Ferradores (elevação adjacente à margem esquerda do ribeirão da Mata em Vespasiano) e o planalto de Confins como remanescentes da superfície Sul-Americana (Figura 25). A erosão dessa superfície a partir do ciclo denudacional Velhas, por sua vez, teria exumado os calcários do Bambuí e, por consequência, a esculturação do sistema cárstico de Lagoa Santa no Pleistoceno médio (~0,78 Ma) (KOHLENER, 1989). King (1956) ainda sugere que inúmeras grutas esculpidas nas rochas sedimentares nessa região estavam submersas, cujo ciclo Velhas foi responsável por drená-las dada a alteração do rebaixamento regional do lençol freático. O Quaternário (~2,5 Ma) ainda foi um tempo mais recente que apresentou flutuabilidades climáticas entre períodos glaciais e interglaciais, as quais, segundo Kohler (1989), foram responsáveis por processos morfoclimáticos que deixaram palimpsestos na superfície, mediante formas esculpidas e depósitos correlatos. Esses depósitos na região do carste de Lagoa Santa, por sua vez, se apresentam dissolvidos, erodidos e lixiviados nos períodos de maior umidade e cimentados em períodos frios e menos úmidos (KOHLENER, 1989).



**Figura 25:** Vista a partir da Serra dos Ferradores para as menores altitudes da margem direita do ribeirão da Mata



Nas imediações da seção lateral investigada, segundo Hoffman (2014), há depressões fechadas pontuais na superfície, ou seja, dolinas e algumas coalescências em uvalas condicionadas por descontinuidades crustais (Figura 26A e 26B). Planos de fraturas subverticais nas rochas sedimentares potencializaram a percolação preferencial das águas até a zona epicárstica que, por conseguinte, condiciona a expressão das formas cársticas em superfície, o exocarste, segundo Pessoa (2005) e conforme observado em campo (Figura 26C). A Serra dos Ferradores identificada por Kohler (1989), por sua vez, também pode estar

relacionada à expressão de uma extensa falha de empurrão de baixo ângulo identificada por Pessoa (2005) e Hoffman (2014), em que essa resultou na individualização do planalto mais elevado à esquerda do ribeirão da Mata em relação à margem direita desse afluente em Vespasiano.

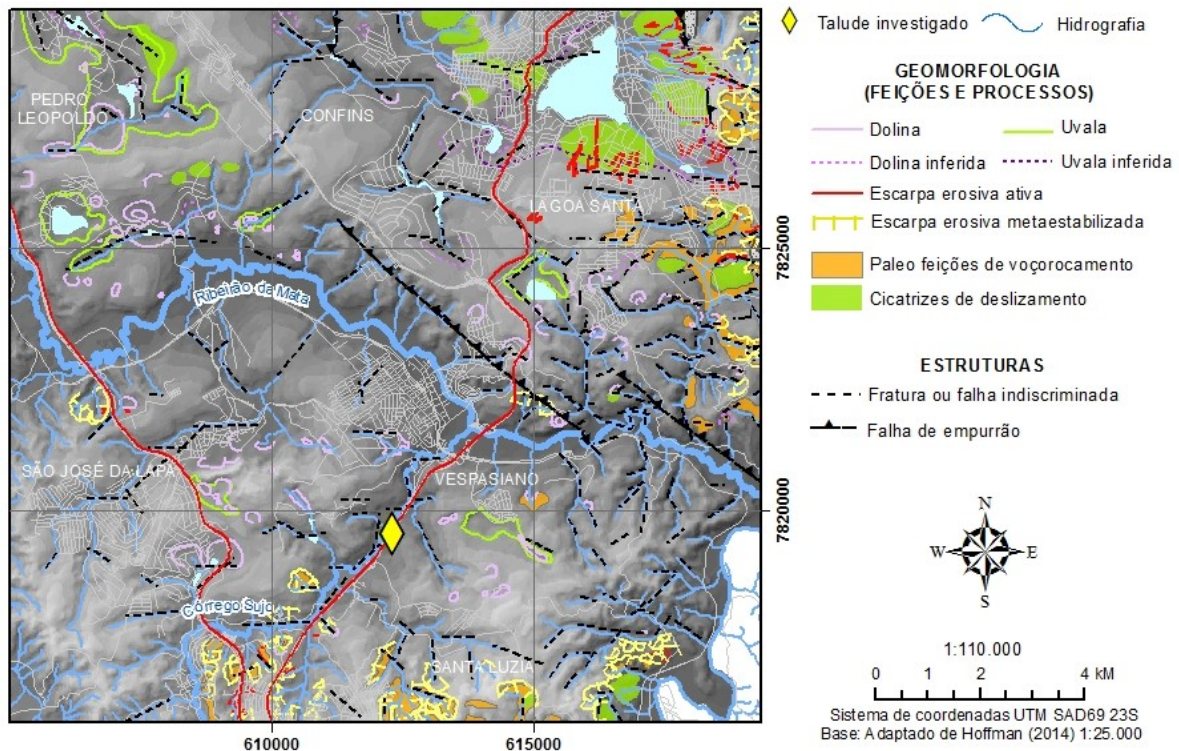
**Figura 26:** Indicadores de dissolução geoquímica condicionada pela organização litoestrutural de rochas carbonáticas da formação Sete Lagoas.



Pondera-se neste trabalho que a gênese de depressões por meio da dissolução envolve processos de tempo mais curto e em menor escala espacial de abrangência em relação ao que foi tratado por King (1956) sobre a morfogênese regional das formas do relevo. Nesse aspecto, a compreensão sobre como operam os materiais, as formas e os processos na área correspondem a noções, também, sobre a morfodinâmica do ambiente. Segundo Suertegaray (2002b) e Mattos e Souza (2010), a investigação morfodinâmica figura a funcionalidade dos processos em uma escala espaço-temporal reduzida em relação à tratada pela morfogênese. Nessa abordagem interessa os fenômenos que ocorrem nas vertentes mediante o comportamento das coberturas superficiais e sua interação a componentes

exógenos como as condições climáticas vigorantes, a cobertura vegetal, ação de microrganismos no processo de pedogênese e, ainda, a interferência antrópica. Processos relativamente recentes na superfície foram mapeados por Hoffman (2014) (Figura 27).

**Figura 27:** Esboço geomorfológico para a área percorrida em campo.

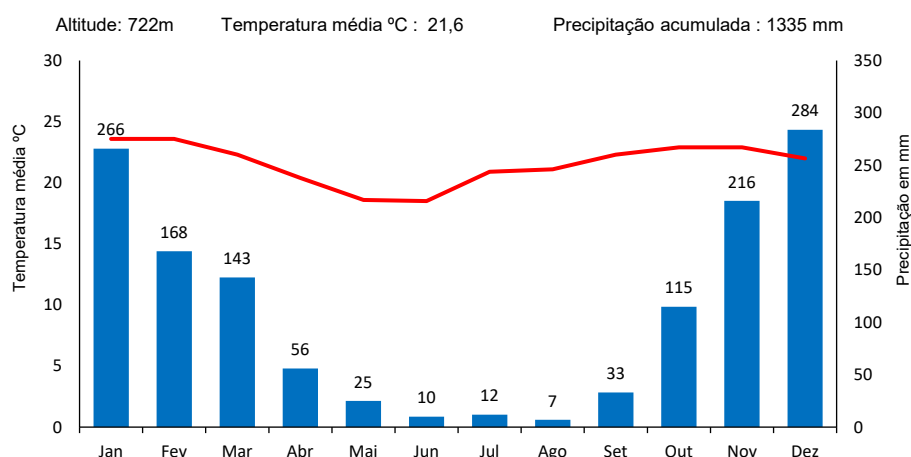


**Fonte:** Adaptado de Hoffman (2014).

O clima é um dos fatores que contribuem para a morfodinâmica da superfície. Em virtude do posicionamento latitudinal, a circulação atmosférica na região é submetida, dentre uma série de sistemas climáticos regionais, à ação do Anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul (APAS), pela qual dele partem ventos de NE e SE. Esse Anticiclone se caracteriza como um sistema de alta pressão de forte estabilidade responsável por gerar temperaturas mais elevadas, com períodos de insolação com poucas nuvens convectivas (RIBEIRO, 1994). A atuação principalmente desse sistema atmosférico regional faz com que o clima na região seja classificado como semi-úmido subquente, cujas temperaturas médias variam entre 15° a 18°C em pelo menos 1 mês, bem como possui 4 a 5 meses secos (IBGE, 2002). Pelo climograma da estação de Sete Lagoas, localizada a cerca de 50 km de

Lagoa Santa, e que compreende a série histórica de chuvas e temperaturas mensais entre 1961 a 1990 nas Normais Climatológicas (INMET, 2015), a temperatura média anual foi de 21,6 °C e acumulação de precipitação anual em torno de 1.335 mm. Os meses entre junho e agosto foram os mais secos, cuja pluviosidade atingiu o extremo de 7 mm no mês de agosto; ao passo que janeiro e dezembro foram os meses de maior umidade, sendo 266mm e 284mm, respectivamente (Figura 28).

**Figura 28:** Climograma da estação do município de Sete Lagoas, Minas Gerais.



**Fonte:** Adaptado das Normais Climatológicas de 1961 a 1991 (INMET, 2015).

Esse regime climático que vigora atualmente pode resultar em atividades extremas de concentração pluviométrica em curtos intervalos de tempo. O efeito desse regime pode reverberar, portanto, sobre os materiais que integram as coberturas superficiais nas vertentes mediante saturação hídrica e posterior colapso por movimentos gravitacionais. As coberturas que, aparentemente, apresentam maior susceptibilidade a esses eventos estão sobre o complexo cristalino arqueano. Nessas coberturas é recorrente haver processos de desmonte de materiais nas vertentes por meio de sulcos, ravinamentos ou movimentos de massa capazes de gerar *fronts* erosivos em cabeceiras de drenagem, em corte de talude ou qualquer outro plano que apresente maior declividade.

## 3.2 Materiais e métodos

A condução dessa pesquisa foi realizada segundo a metodologia apresentada por Ab'Saber (1969) apresentada no Capítulo 1, que para este trabalho, compreende principalmente o 1º nível de tratamento sobre a organização topográfica regional e seus compartimentos, bem como parte do 2º nível escalar que trata sobre o entendimento sobre a estrutura superficial e seus aspectos. Esse 2º nível de tratamento necessita investigações detalhadas nos quais recursos de laboratório podem ser demandados. Nesta primeira parte do trabalho, a observação sobre as coberturas superficiais envolve principalmente um reconhecimento geral sobre sua organização e estruturação em campo em relação ao seu contexto espacial de inserção.

Nesse aspecto, baseado nesses diferentes níveis de tratamento escalares de Ab'Saber (1969) sobre a investigação das formas, processos e materiais que modelam a superfície terrestre, foi realizado, para um primeiro nível de tratamento, o mapeamento cartográfico de compartimentos topográficos regionais e o respectivo contexto de inserção da bacia hidrográfica investigada em escala 1:25.000. Nesse mapa também foram inseridas informações sobre a distribuição das coberturas que modelam a área no tocante ao tipo de origem (*in situ* ou por transporte). Ao total, foram 10 campanhas de campo para marcação de pontos e suas respectivas caracterizações, que compreenderam taludes que exumam profundas coberturas pedológicas e/ou alteríticas, a identificação de pontos de rupturas, *knickpoints* no córrego Sujo, bem como o contexto espacial desses componentes. O campo foi conjugado à etapa em gabinete que foram utilizadas fotografias aéreas 1:10.000 de 1967 (CEMIG, 1967), imagens orbitais obtidas pelo programa *Google Earth* e modelos digitais de elevação extraídos do SRTM do Projeto Topodada (INPE, 2008). O arcabouço geológico foi aproveitado do mapeamento em escala 1:25.000 de Hoffman (2014) cujos limites litoestruturais foram conferidos durante as campanhas.

Os compartimentos geomorfológicos foram divididos principalmente conforme a rugosidade observada por imagens orbitais e sua respectiva posição altimétrica topográfica. Foram mapeadas áreas topograficamente planas indiferenciadas e delimitado o perímetro de quaisquer depressões fechadas e semiabertas no

modelado do relevo. Os critérios para a delimitação dessas depressões correspondem às feições identificadas tanto em campo quanto nas fotografias aéreas em escala 1:10.000 e imagens orbitais, nas quais depressões fechadas em alguns casos podem corresponder a dolinas, ao passo que depressões semiabertas, por vezes, podem estar relacionadas a antigos anfiteatros.

Em virtude do componente antrópico de ocupação da bacia investigada, algumas depressões podem corresponder a alterações na morfologia do relevo por maquinário, fenômeno o qual este trabalho buscou minimizar no mapeamento por meio da identificação de feições típicas de alterações e comparação entre as fotos de 1967 e 2017. As áreas planas, por sua vez, podem corresponder a áreas de sedimentações favorecidas, sobretudo, por ambiente lântico. Contudo, nem sempre essas áreas planas podem estar associadas a esse tipo de dinâmica. A rede hidrográfica no domínio da bacia do córrego Sujo foi vetorizada a partir da interpretação de fotografias aéreas em escala 1:10.000, imagens orbitais, bem como foram identificados os principais pontos de rupturas, isto é, *knickpoints*, ao longo do canal do córrego Sujo, além de dados validados em campo.

Para esse mapa de compartimentos geomorfológicos, foram elaboradas duas seções topográficas regionais, sendo uma completamente nos domínios da bacia do córrego Sujo e outra que envolve a bacia e parte do Planalto de Confins. A variabilidade das coberturas foi plotada nos transectos pela diferenciação entre a exumação de coberturas lateríticas, representadas pela cor amarela, ao passo que aquelas que apresentavam desenvolvimento pedológico foram representadas em laranja ou vermelho, a depender do que foi observado em campo. Para a seção topográfica regional, que compreende o Planalto de Confins, foi inserido o perfil longitudinal do córrego Sujo em sua respectiva correspondência topográfica, isso em conjunto aos trechos identificados como os principais pontos de rupturas, *knickpoints*, ao longo desse canal fluvial. Essas seções topográficas, bem como o perfil longitudinal, foram confeccionados por meio do *software* ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009) e tratados graficamente no programa CorelDRAW X3.

Para além do mapeamento de compartimentos geomorfológicos, como um segundo nível de tratamento segundo Ab'Saber (1969), foram elaboradas seções

verticais que representem as principais organizações observadas nas coberturas superficiais. Tais seções correspondem a modelos esquemáticos sobre a filiação genética das coberturas identificadas diferenciadas pelo predomínio granulométrico observado em campo, bem como classificados em elúvio, colúvio ou alúvio segundo Casseti (2005).

Isto é, quando os materiais apresentam evidências de desenvolvimento biogeoquímico *in situ* a partir de sua rocha subjacente, foram designados como elúvios. Materiais cuja organização e estruturação estejam associadas a movimentos na superfície que favoreçam a mistura e heterogeneidade dos componentes, foram designados como colúvios, ainda que possuam posterior contribuição biogeoquímica sobre seus materiais. Os materiais que no conjunto possuam relativa organização normalmente encontrada por meio de transporte fluvial foram definidos como alúvios. Essa classificação foi atribuída mediante o predomínio de características identificadas em campo e, posteriormente, plotadas no transecto da bacia investigada em seu respectivo contexto de inserção espacial. Para os materiais que representam rochas intemperizadas, os critérios de diferenciação foram pela conceituação de alterita equivalente ao horizonte C pedológico, e sua diferenciação entre aloterita e isalterita, que segundo Riou (1990), aloterita corresponde a rochas completamente intemperizadas geoquimicamente e que não possuem sua estruturação original, ao passo que isalteritas são aquelas que ainda conservam seu esqueleto original.

Para a análise da rede hidrográfica, foram mapeados lineamentos correspondentes a talvegues identificados manualmente pelo SRTM do Projeto Topodada (INPE, 2008) pelo ArcGIS 10.1 (ESRI, 2009), incorporando ao *toolbox* a ferramenta *azimuthfinder* de Queiroz et al. (2014), que permite a extração de uma tabela .txt formatada sobre os azimutes de cada lineamento mapeado. Com essa tabela, foi utilizado o programa *Stereonet7* para a confecção de diagramas de rosetas sobre frequência acumulada e comprimento acumulado dos lineamentos identificados.

### **3.3 Resultados**

#### ***3.3.1 Compartimentação regional geomorfológica***

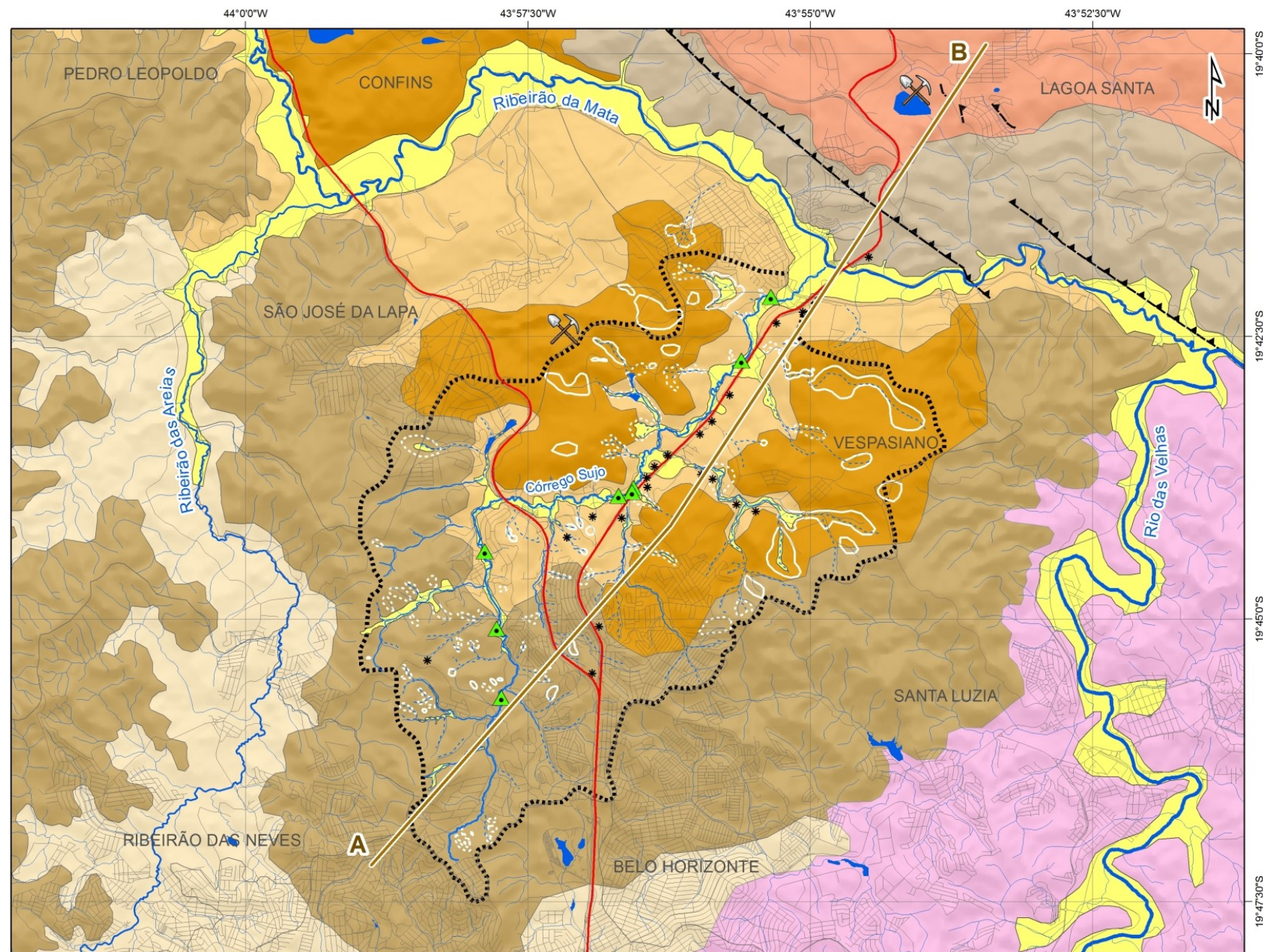
Baseando-se principalmente no primeiro e no segundo nível de tratamento escalar de Ab'Saber (1969) sobre a investigação das formas, processos e materiais que modelam a superfície terrestre, para este trabalho o mapeamento cartográfico de compartimentos topográficos regionais, suas unidades de relevo, formas modeladas e seus materiais associados permitem uma primeira aproximação sobre as condições geomorfológicas de longo-termo da bacia hidrográfica investigada. A partir da leitura do mapa observa-se a diferenciação de oito (8) compartimentos geomorfológicos. A área cartografada representa geologicamente uma zona de contato entre duas distintas unidades morfoestruturais, sendo uma representada ao sul por rochas do complexo cristalino granito-gnáissico exumado de Belo Horizonte, ao passo que ao norte compreende o domínio das rochas carbonatadas que integram a porção meridional do Grupo Bambuí na região de Lagoa Santa. A leste, o leito do rio das Velhas drena diretamente sobre o complexo cristalino, enquanto o ribeirão da Mata encontra-se sobre as rochas do Membro Pedro Leopoldo. O córrego Sujo, por sua vez, tem sua bacia hidrográfica marcando a transição entre essas unidades morfoestruturais, sendo suas cabeceiras sobre o complexo cristalino enquanto à jusante passa a drenar sobre os calcilitos do Membro Pedro Leopoldo.

Topograficamente a bacia do córrego Sujo apresenta caimento geral para NE sendo suas cabeceiras atingindo uma cota de 950m enquanto a foz desse córrego encontra-se a cerca de 680 m (Figura 29). Essa organização representa um desnível geral topográfico de 270 m, em uma distância horizontal de 10 km, o que resulta em uma média de 27m de decaimento a cada km. Enquanto a bacia do córrego Sujo possui um caimento geral para NE, o Planalto de Confins, situado à margem esquerda do ribeirão da Mata, apresenta uma organização topográfica relativamente subhorizontalizada entre as cotas de 850 m e 800 m (Figura 29).



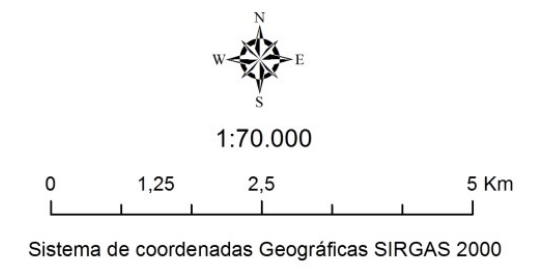
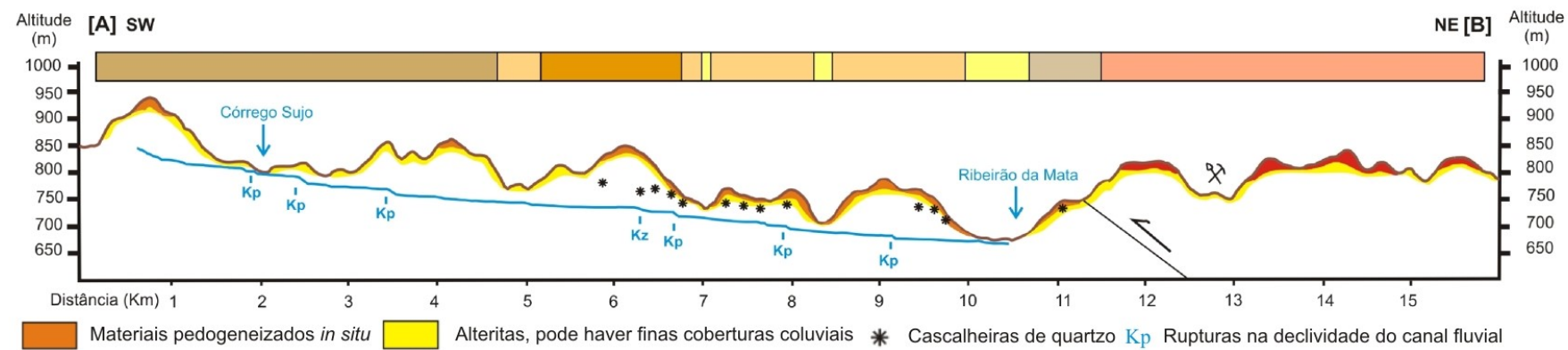
Figura 29: Organização geomorfológica da área investigada e seu entorno.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SUJO E SEU ENTORNO



Legenda

- \* Cascalhos grossos de quartzo
- ▲ Knickpoints do córrego Sujo
- ⚒ Mineração
- ▲ Falha de empurrão
- Rodovias
- Rede hidrográfica
- ⊙ Bacia hidrográfica do córrego Sujo
- Perímetro de depressão fechada
- Perímetro de depressão semiaberta em forma de vale
- Topografia plana ou subhorizontalizada indiferenciada
- Planalto de Vespasiano  
Formas dissecadas e/ou escarpadas
- Depressão de Vespasiano I  
Colinas de topo convexo em forma de domo
- Depressão de Vespasiano II  
Colinas altimetricamente mais baixas e de topografia alongada
- Depressão do ribeirão das Areias  
Colinas de topo convexo e relativamente suaves
- Depressão do rio das Velhas  
Colinas relativamente dissecadas
- Planalto de Confins  
Front de vales dissecados
- Planalto de Confins  
Platô; topografia relativamente plana e alongada



Há um conjunto de feições que formam perímetros topograficamente deprimidos na bacia investigada. Essas feições possuem maior expressão na porção jusante da bacia, drenada sobre as rochas sedimentares da Formação Sete Lagoas, em que algumas correspondem a dolinas e uvalas geralmente associadas ao talvegue de alguma paleodrenagem. Na parte montante da bacia drenada sobre o complexo cristalino ou sobre espessas alteritas foram identificadas uma série de depressões semiabertas que comumente estão relacionadas a formas de anfiteatros, no qual atualmente não há uma rede hidrográfica significativa, bem como a voçorocamentos geralmente associados à interferência antrópica. As formas de depressões fechadas também ocorrem nessa zonalidade. Todavia, apresentam menor recorrência e menores dimensões em relação às encontradas à jusante.

Na seção topográfica que representa a bacia investigada e suas imediações pelo Planalto de Confins, estão inseridos os materiais observados em campo, ou seja, revelam-se registros de quartzos transportados por movimentos gravitacionais, colúvios, concentrados principalmente por volta de 800 m, e relativamente próximos das margens do córrego Sujo e de alguns de seus afluentes drenados pela margem direita. Também estão mapeadas as alteritas (isalteritas e aloteritas), expostas em superfície e caracterizadas por materiais de cor amarelada, bem como coberturas pedológicas desenvolvidas sobre esses materiais, nas quais geraram cores que variam de alaranjada na bacia do córrego Sujo, até fortemente avermelhadas no Planalto de Confins. Nessa seção, a plotagem do perfil longitudinal do córrego Sujo indica três pontos de rupturas situados no planalto de Vespasiano, uma *knickzone* na inflexão do córrego Sujo de W-E para SW-NE, bem como dois *knickpoints* de pequena amplitude à jusante.

A bacia investigada possui suas cabeceiras de drenagem situadas em uma significativa elevação topográfica, de formas principalmente dissecadas, classificada como Planalto de Vespasiano, na qual é circundada pelas depressões do ribeirão das Areias, a oeste, e do rio das Velhas a leste, sendo este último rio o nível de base geral para o conjunto cartografado. Ao longo da margem esquerda do ribeirão da Mata há um *front* relativamente escarpado

que delimita o Planalto de Confins, cujo mapa geológico, em escala 1:25.000 de Hoffman (2014), sugere uma zona de falhas de cavalgamento associadas à orogenia pré-cambriana que estruturou o Espinhaço Meridional. O Planalto de Confins, por sua vez, possui topografia relativamente plana e alongada, compreendendo a maior expressão do sistema cárstico de Lagoa Santa e feições associadas (Figura 29).

Para além das cabeceiras da bacia investigada, em direção ao sul adentra-se no domínio de colinas suavemente onduladas na Depressão de Belo Horizonte, dolinas estas modeladas principalmente sobre rochas do escudo cristalino, que comumente apresentam espessa cobertura pedológica, cuja amplitude altimétrica é relativamente mais suavizada que as cabeceiras do córrego Sujo, estas também sobre o escudo cristalino. O rio das Velhas, por sua vez, apresenta uma organização relativamente meandrante de seu leito fluvial, cujas imediações são integradas por formas de colinas com vales relativamente dissecados em menor amplitude em relação ao Planalto de Vespasiano. Próximo da planície do ribeirão da Mata, a organização do modelado varia entre formas de colinas convexas em forma de domos até colinas altimetricamente mais baixas e de topografia suave.

A representação em amarelo ainda indica superfícies topograficamente planas indiferenciadas, isto é, ainda que geralmente estejam associadas às margens de canais fluviais, não necessariamente indicam depósitos quaternários de sedimentos aluviais.

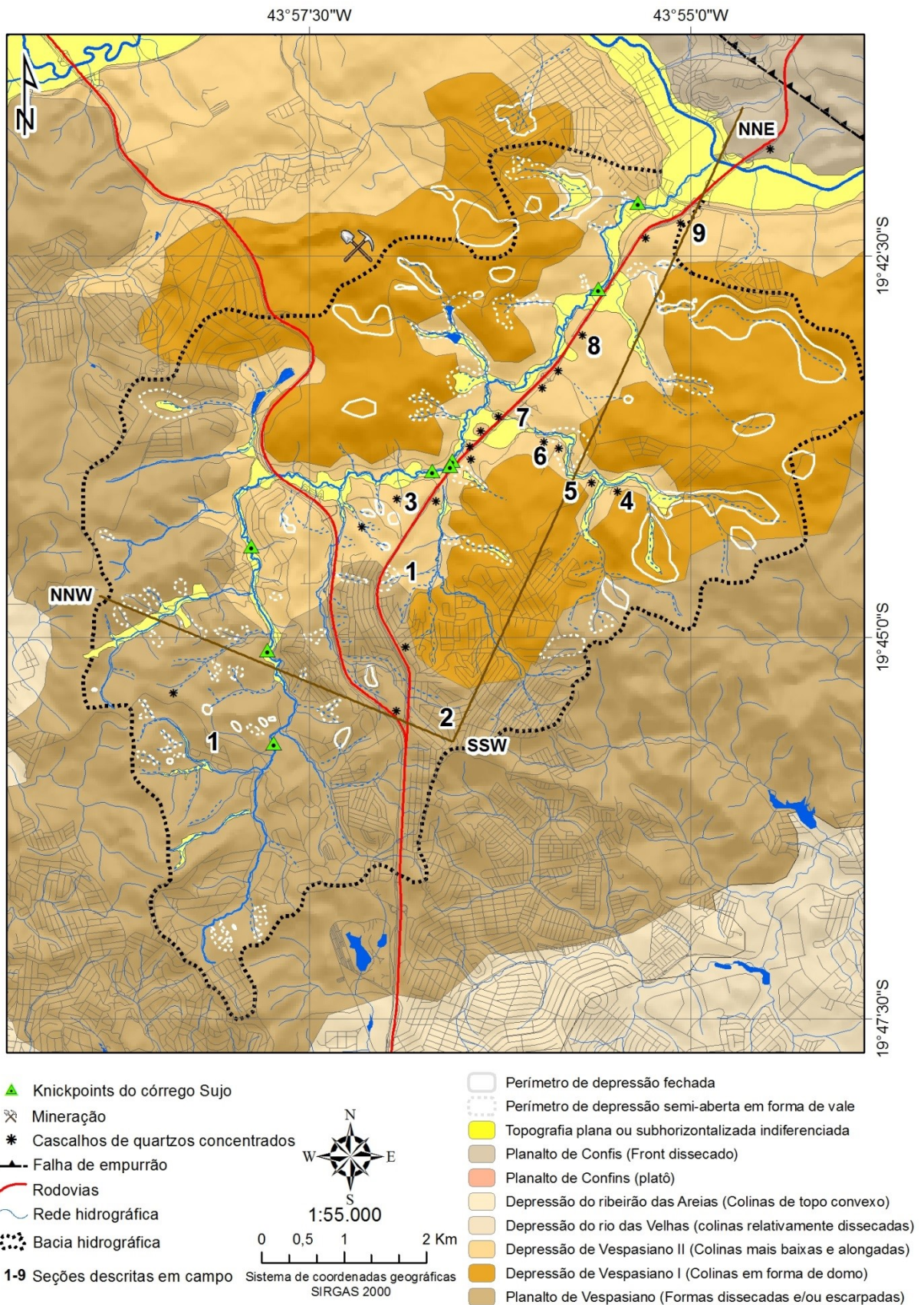
### **3.3.2 Organização de componentes espaciais na bacia do córrego Sujo**

Com a finalidade de se realizar maiores detalhamentos sobre a bacia hidrográfica do córrego Sujo e a formulação de possíveis hipóteses evolutivas para a área, que possam explicar a razão dos fragmentos grossos de quartzos subarredondados encontrados de maneira recorrente nas coberturas, os tópicos seguintes são organizados mediante os fenômenos e registros de materiais impressos na bacia. Nesse aspecto, apresenta-se a organização das coberturas superficiais, da rede hidrográfica e respectiva compartimentação geomorfológica regional.

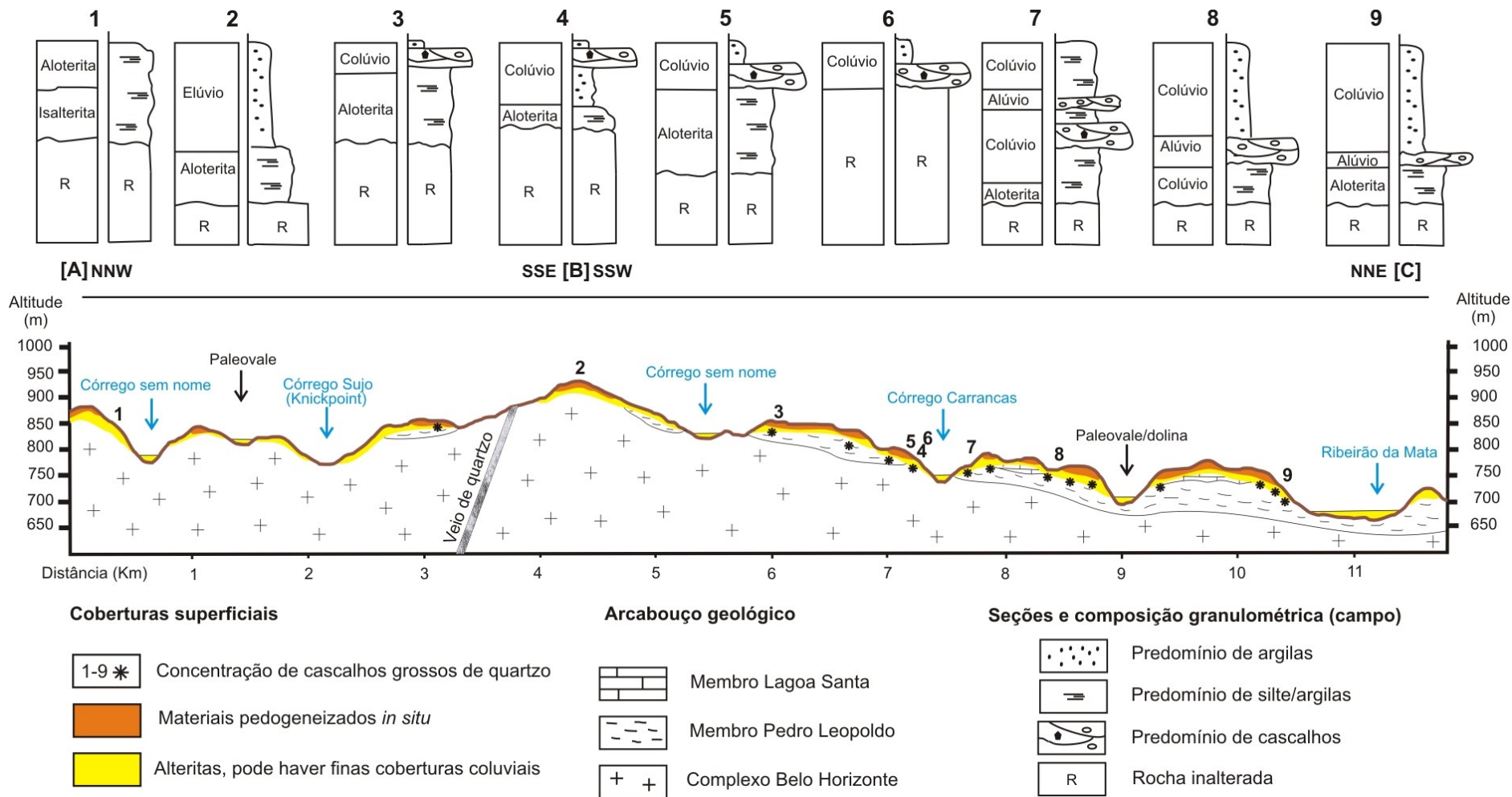
#### **3.3.2.1 Distribuição espacial de coberturas superficiais**

Dentre uma variabilidade de coberturas integradas por elúvios, colúvios e alúvios, as coberturas eluviais, ou pedológicas, são encontradas principalmente em alguns topos da zona de cabeceira do córrego Sujo e possuem cores geralmente alaranjadas a avermelhadas. Em contrapartida, outros topos possuem a exumação de alteritas (Figura 29). Essas coberturas estão associadas tanto a rochas do embasamento cristalino quanto do Membro Pedro Leopoldo. Para a seção topográfica esquemática da bacia do córrego Sujo, foram plotadas informações sobre o arcabouço geológico, coberturas superficiais, vales fluviais relativamente colmatados, além das seções verticais descritas, que representam as organizações de materiais observados na bacia. (Figura 30).

**Figura 30:** Organização geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego Sujo.

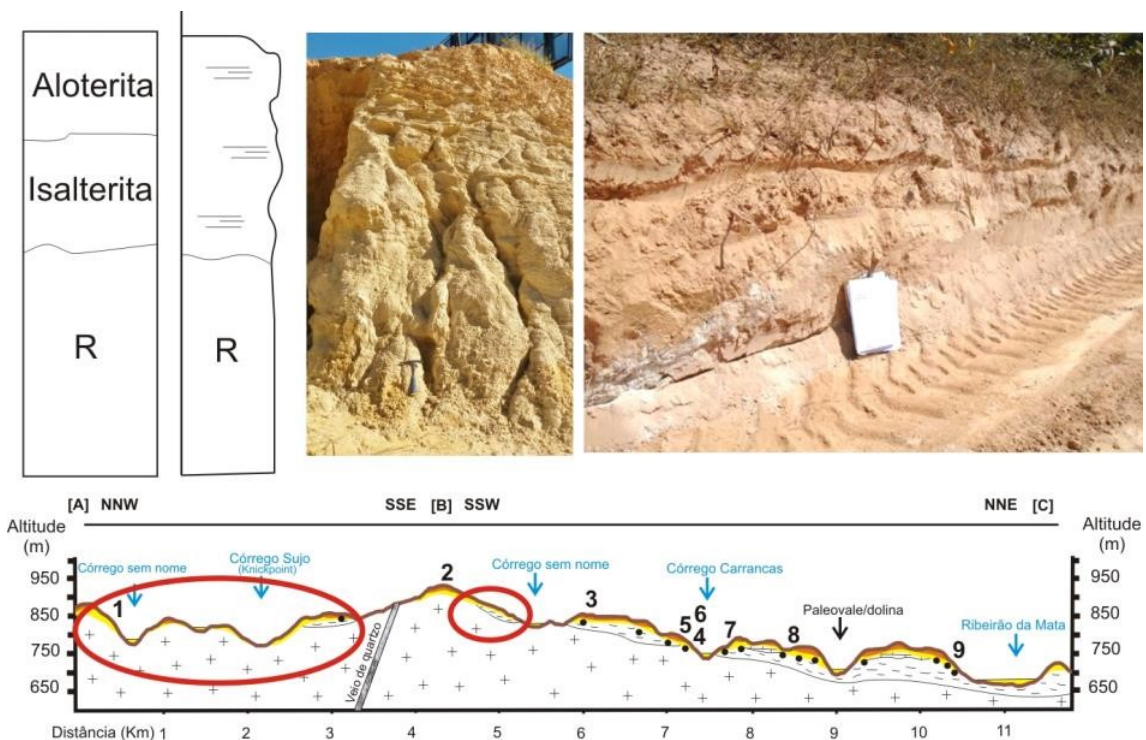


**Figura 31:** Seção topográfica regional da bacia hidrográfica do córrego Sujo e respectivas coberturas superficiais identificadas.



A seção 1 representa a exumação de alteritas (aloteritas e isalteritas), tanto do Membro Pedro Leopoldo quanto do embasamento cristalino gnáissico-migmatítico. Estas alteritas são encontradas tanto em alguns interflúvios da bacia do córrego Sujo no Planalto de Vespasiano, quanto na rampa geral de declinação topográfica, em que há a transição das formas dissecadas que integram o Planalto de Vespasiano para o domínio das colinas convexas dômicas à jusante na Depressão de Vespasiano I (Figura 32).

**Figura 32:** Seção 1 que representa principalmente alteritas nas zonas de cabeceira da bacia do córrego Sujo.

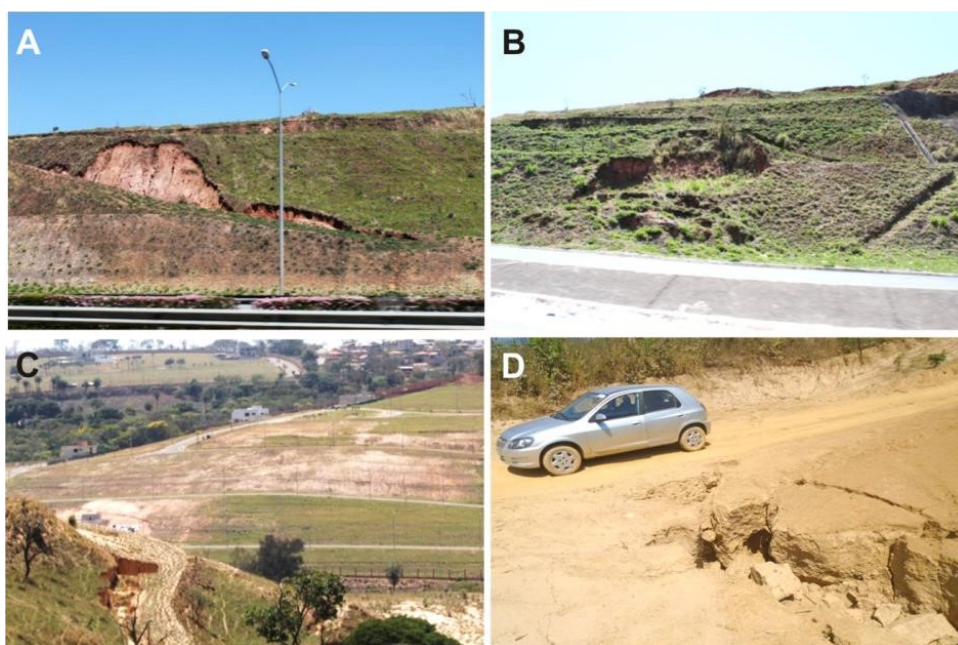


As aloteritas, isto é, rocha intemperizada que já perdeu sua arquitetura original, são as formações mais recorrentes identificadas, sendo isalteritas encontradas em alguns trechos. Na área, a maior representação de isalteritas ocorre no decaimento geral topográfico da bacia cujas rochas correspondem aos calcilutitos do Membro Pedro Leopoldo (Figura 32). De maneira pontual também é possível encontrar isalteritas do embasamento cristalino que assumem cores mais rosadas em relação aos saprolitos amarelados dos calcilutitos (Figura 32).

Essas coberturas encontradas na bacia do córrego Sujo, sobretudo, em suas cabeceiras de drenagem, possuem fragilidades geotécnicas que são potencializadas

por recorte de taludes e aberturas de loteamentos. Ao longo da MG-010, nas imediações da Cidade Administrativa no perímetro da borda sul da bacia do córrego Sujo, torna-se recorrente observar o fenômeno de movimentos gravitacionais de massa, sobretudo, no domínio cristalino. A abertura de loteamentos potencializa esses fenômenos também na rampa de decaimento de geral da bacia, sobre as alteritas dos calcilutitos do Membro Pedro Leopoldo (Figura 33). Notadamente esses processos correspondem a uma temporalidade de poucas dezenas de anos motivadas principalmente pela ocupação antrópica na área.

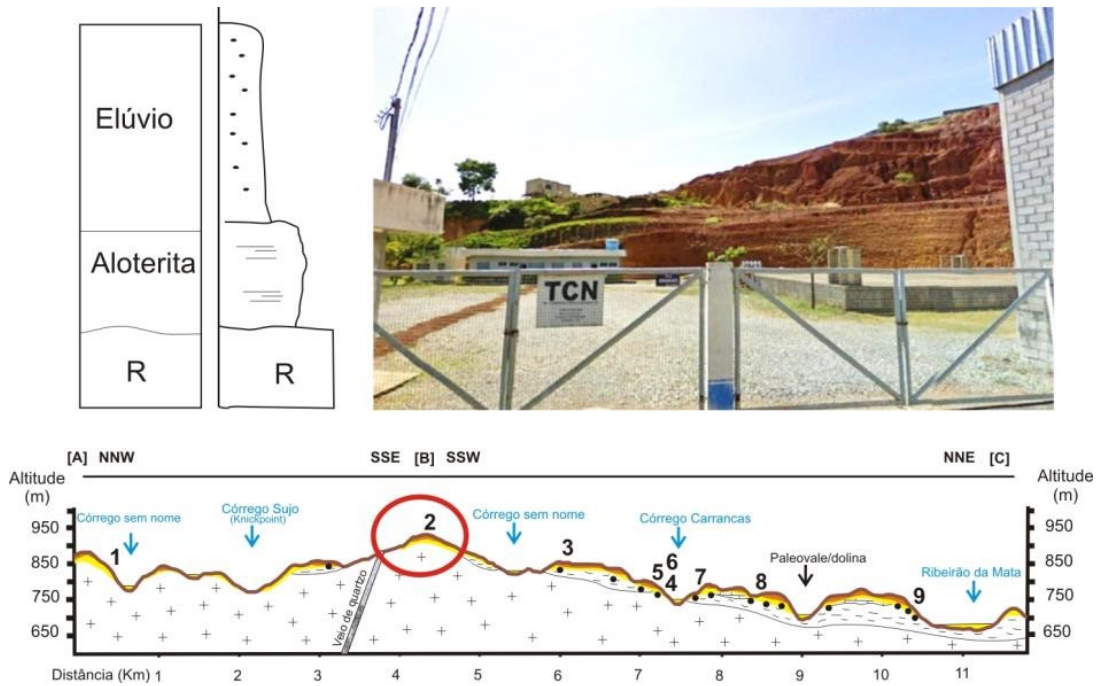
**Figura 33:** Processos de movimentos gravitacionais de massa motivados pelo recorte de taludes ou pela abertura de loteamentos a partir de áreas de exumação de alteritas.



A seção 2 caracteriza uma situação relativamente típica de alguns topos da área investigada, ao apresentar desenvolvimentos pedológicos geralmente superiores a 5 m de espessura e relativa homogeneidade de seus constituintes, além de apresentar transição difusa e gradual para o horizonte C, isto é, a alterita (Figura 34). Essas coberturas, geralmente, estão associadas a rochas do embasamento cristalino granítico-gnáissico e possuem maior recorrência à medida que se direciona ao sul em direção a Belo Horizonte para além dos divisores da bacia do córrego Sujo. Nesta direção também há decaimento topográfico e adentra-se no domínio da bacia hidrográfica do ribeirão Onça.



**Figura 34:** Seção 2, esta indica coberturas com significativo desenvolvimento pedológico.



Veios de quartzo são encontrados nas alteritas e geralmente correspondem a pequenas faixas por volta de 5 cm de espessura. A maior expressão espacial encontrada desses veios encontra-se nas imediações da seção 2, em zona de interflúvio às margens da rodovia MG-010. Esse veio possui espessura lateral por volta de 6 m, além de estar recortado pela superfície topográfica (Figura 35).

**Figura 35:** Veio de quartzo alterado em talude na rodovia MG-010 na cabeceira da bacia investigada. Observou-se em campo que os fragmentos possuem arestas relativamente subarredondada.

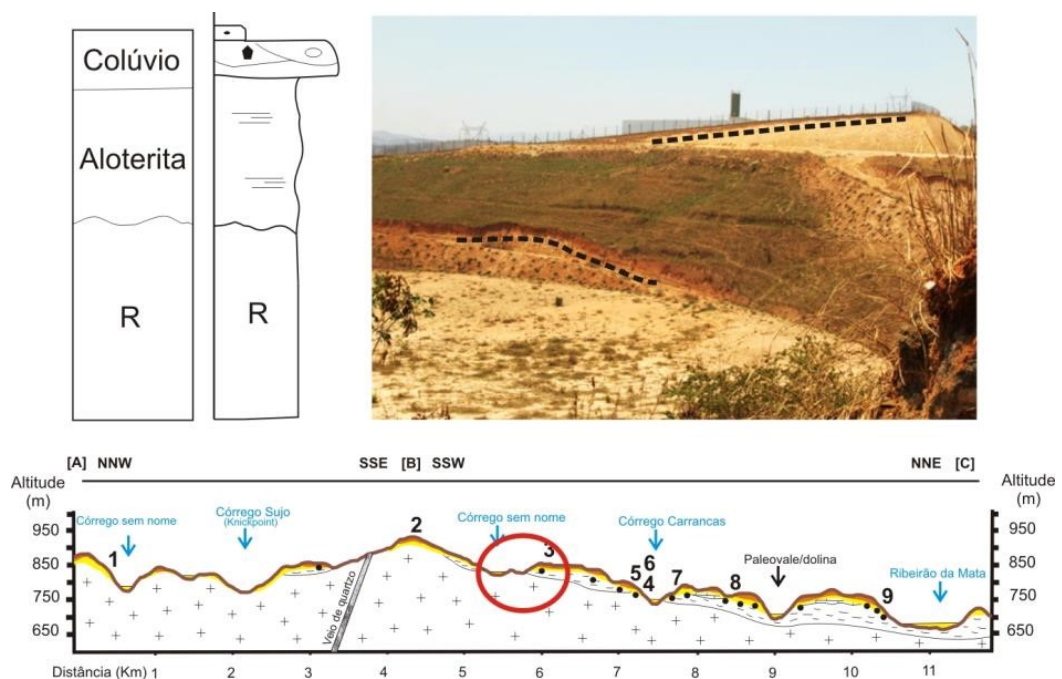


Os quartzos encontrados são leitosos e encontram-se no início da cobertura de rochas sedimentares do Bambuí por sobre o complexo cristalino. Os quartzos possuem arestas irregulares e algumas relativamente subarredondada, além de descontinuidades em seu retículo cristalino, sendo a inclinação geral de mergulho do

veio direcionando-se para sul cujo *front* está voltado para norte (Figura 25). Notadamente esses quartzos possuem características cristalográficas semelhantes a seixos rolados observados à jusante em meio a uma matriz coluvial, ao contrário daqueles observados no Planalto de Confins, nas quais é comum serem fibrosos correspondendo a diferentes tipos de cristalização mineral durante a intrusão de veios hidrotermais. Características estas como a relativo arredondamento de suas arestas, fraturas internas, bem como sinais de alterações geoquímicas em sua superfície como pequenas porosidades alveolares e preenchimento de soluções em suas discontinuidades cristalinas.. Esse veio na MG-010 está representado na seção topográfica regional da bacia do córrego Sujo (Figuras 30 e 31).

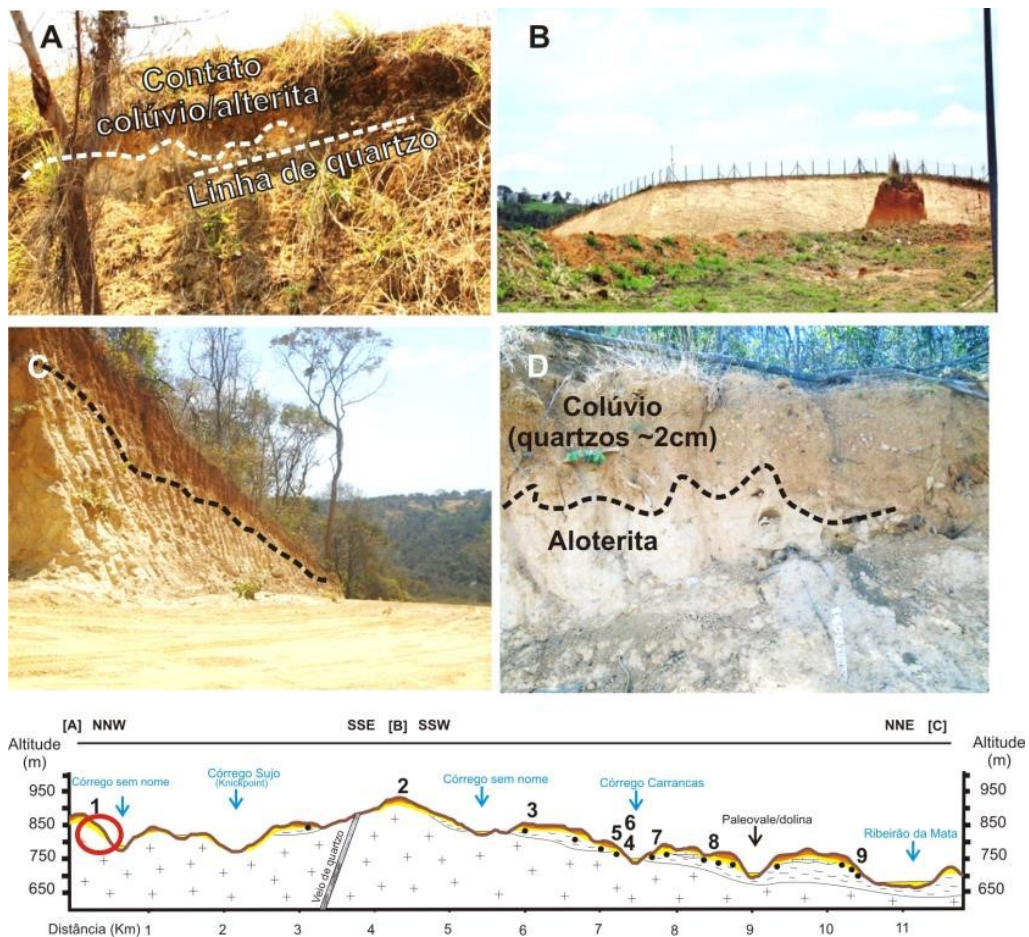
A seção 3 representa o incio da rampa geral de descida topográfica da bacia do córrego Sujo em que é identificada uma fina cobertura coluvial sobre alteritas do Membro Pedro Leopoldo (Figura 36). Esses colúvios são caracterizados como uma zona de fragmentos de quartzo de diâmetro por volta de 1 a 4 cm, emersos aleatoriamente em uma fina matriz de materiais finos inconsolidados com alguma alteração geoquímica *in situ*, sendo esse conjunto em contato abrupto com as alteritas.

**Figura 36:** Seção 3 que evidencia finas coberturas coluviais suportadas por alteritas do Membro Pedro Leopoldo.



Essa característica é encontrada ao longo da rampa geral de declinação topográfica da bacia, em ambas as margens direita e esquerda do córrego Sujo. Esse tipo de organização dos materiais também é encontrado em algumas cabeceiras da bacia, na região do Morro Alto, margem esquerda do afluente, onde foram encontrados espessos saprolitos do embasamento cristalino tal como representado na seção 1, recobertos em alguns trechos por esses materiais coluviais de espessura por volta de 40 cm, em contato discordante. A descontinuidade entre os materiais coluviais e as alteritas interfere na maneira como a geoquímica atua sobre as sequências, na qual observa-se irregularidades e frentes preferenciais de alteração nas alteritas (Figura 37).

**Figura 37:** Coberturas coluviais suportados por alteritas cujo contato apresenta alterações geoquímicas *in situ*.

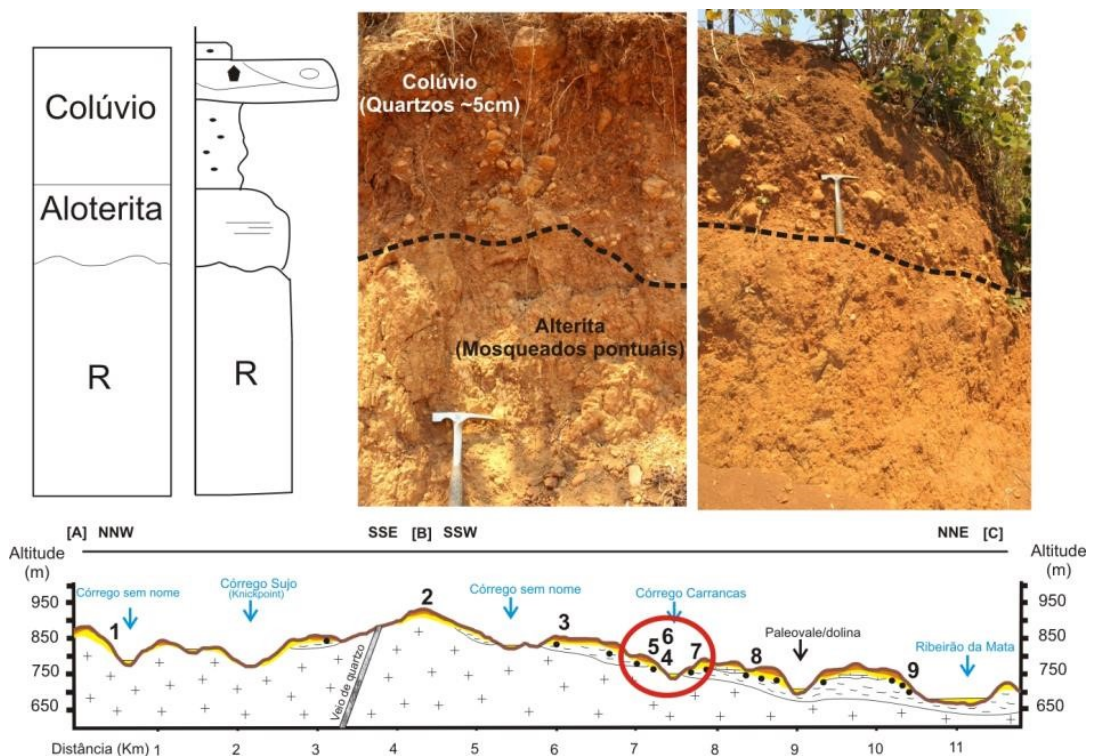


Continuando pelo seguimento de inclinação topográfica geral, chega-se no domínio central da bacia, coincidente com o vale drenado pelo córrego Carrancas, este um afluente da margem direita do córrego Sujo. Essa zonalidade central da

bacia marca a atenuação geral do caimento topográfico da superfície cuja organização do modelado do relevo torna-se mais regular ao longo de um caimento geral para NE, relativamente subhorizontalizado. Essa zonalidade central também corresponde a maior presença de colúvios grossos cujos fragmentos de quartzo podem atingir cerca de 30cm de diâmetro em alguns pontos. Para essa zonalidade central foram elaboradas as seções 4, 5, 6 e 7, as quais revelam particularidades nas organizações dessas formações colúvias.

A seção 4 encontra-se a cerca de 3 m acima do atual leito fluvial do córrego Carrancas (Figura 38) e caracteriza-se como um depósito colúvio integrado por uma camada superior, contendo uma mistura irregular de seixos subangulosos a subarredondados de quartzo de cerca de 7 cm de diâmetro cujos fragmentos maiores atingem tamanho por volta de 30 cm em meio a uma matriz fina friável (Figura 38). Abaixo desse estrato encontram-se materiais finos alterados pedogeneticamente com mosqueados. Esse estrato inferior é interpretado também como material coluvionado devido a sua interdigitação ao estrato superior em alguns trechos, bem como à presença esparsa de seixos de quartzo subarredondado de tamanho por volta de 3 cm (Figura 38).

**Figura 38:** Seção 4 que compreende cascalhos de quartzo em meio a uma matriz pedogeneizada.



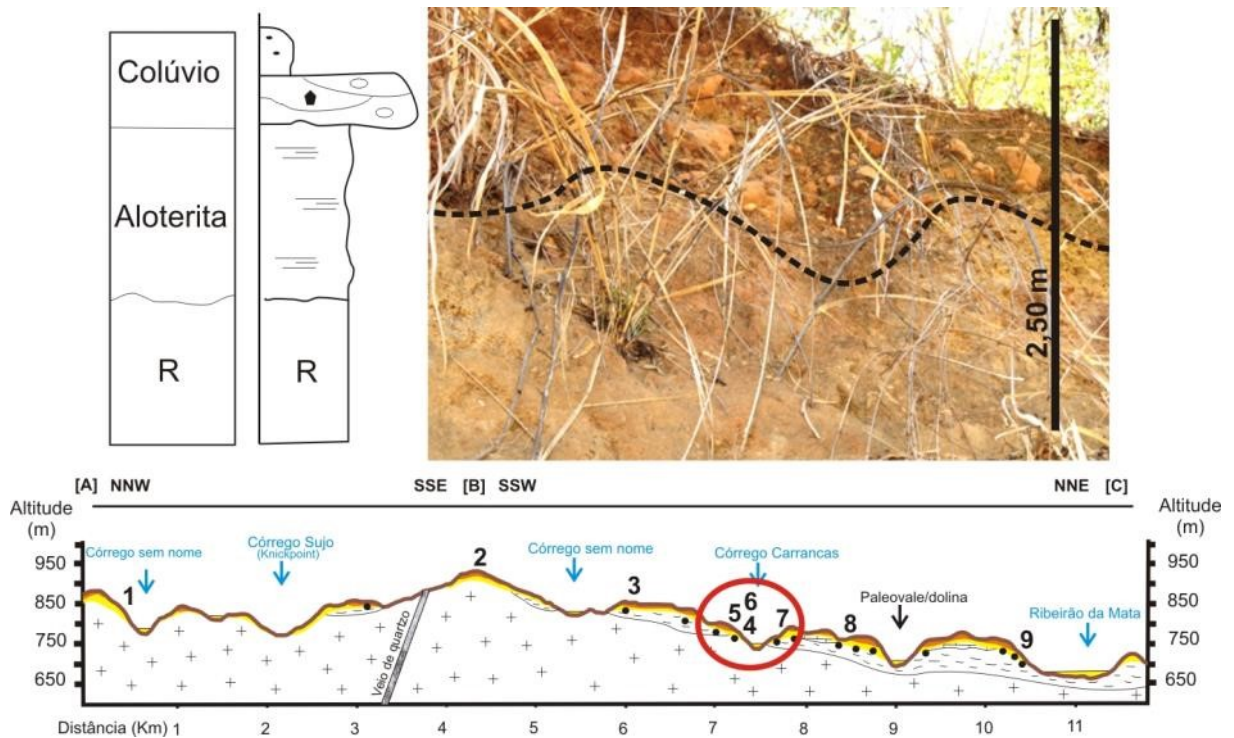
Esta seção é interpretada como colúvios posteriormente alterados geoquimicamente pela oscilação de níveis freáticos, associados à dinâmica pretérita do córrego Carrancas. Esse estrato inferior ainda pode conter finos mobilizados verticalmente a partir do estrato superior mais grosso (Figura 39).

**Figura 39:** Distribuição espacial dos cascalhos da Seção 4 às margens do córrego Carrancas.



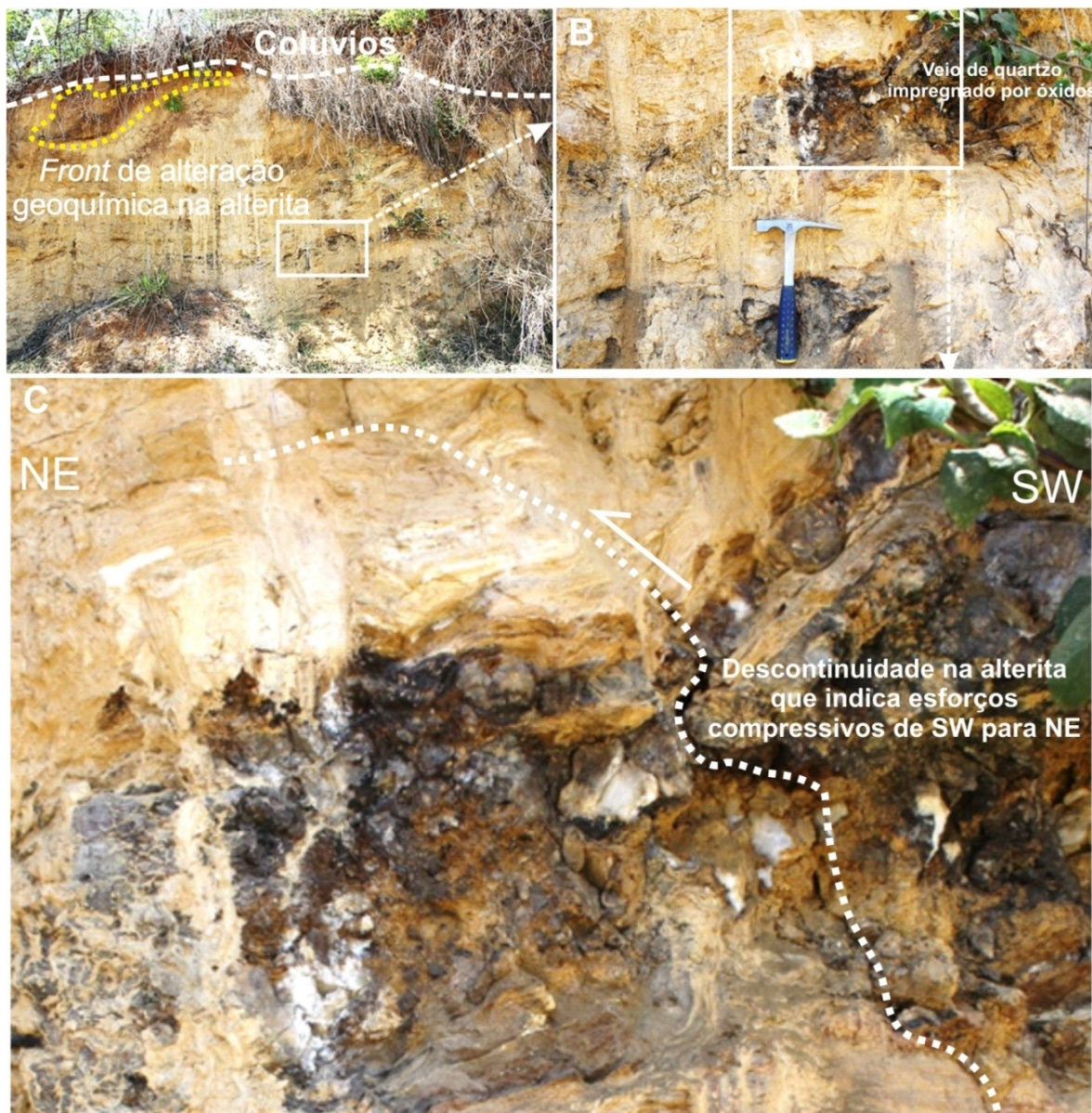
A seção 5 corresponde aos materiais observados a partir de um recorte lateral de talude de 50 m de extensão na qual compreende uma “topossequência” de um degrau na seção topográfica regional na margem esquerda do córrego Carrancas, isto é, apresenta a organização dos materiais das imediações do talvegue colmatado do córrego Carrancas até cerca de 10 m de altura na vertente (Figura 40). Essa seção lateral compreende variabilidade na distribuição de materiais coluviais, sotopostos a aloteritas do Membro Pedro Leopoldo e pode conter o registro sobre a evolução geomorfológica desses materiais.

**Figura 40:** Seção 5, que compreende colúvios com as maiores concentrações de fragmentos grossos de quartzo superiores a 20 cm de diâmetro.



A variabilidade lateral dos materiais nessa seção envolve a baixa vertente, apresentando a exumação de alteritas do Membro Pedro Leopoldo com uma fina matriz coluvial inconsolidada, com seixos subarredondados por volta de 2 cm. Nessa alterita são observados vestígios da organização da estrutura original da rocha de maneira ondulada e a presença de discontinuidades associadas a estruturas de falhamentos inversos antigos. Ainda nessas alteritas, há veios de quartzo preenchidos por óxidos escurecidos, provavelmente associados a ferro e manganês, na qual em alguns trechos estão truncados por discontinuidades crustais (Figura 41). Próximo da superfície topográfica ainda são encontrados sinais de fluidos que percolaram essas alteritas, interpretadas como de um período em que havia disponibilidade hídrica para carreamento de íons em subsuperfície. Esta disponibilidade está provavelmente associada a outro momento do atual córrego Carrancas.

**Figura 41:** Alterita do Membro Pedro nas imediações do córrego Carrancas. Em A e B indica-se a variabilidade de alteração geoquímica, em C o indicador sobre esforços compressivos regionais.

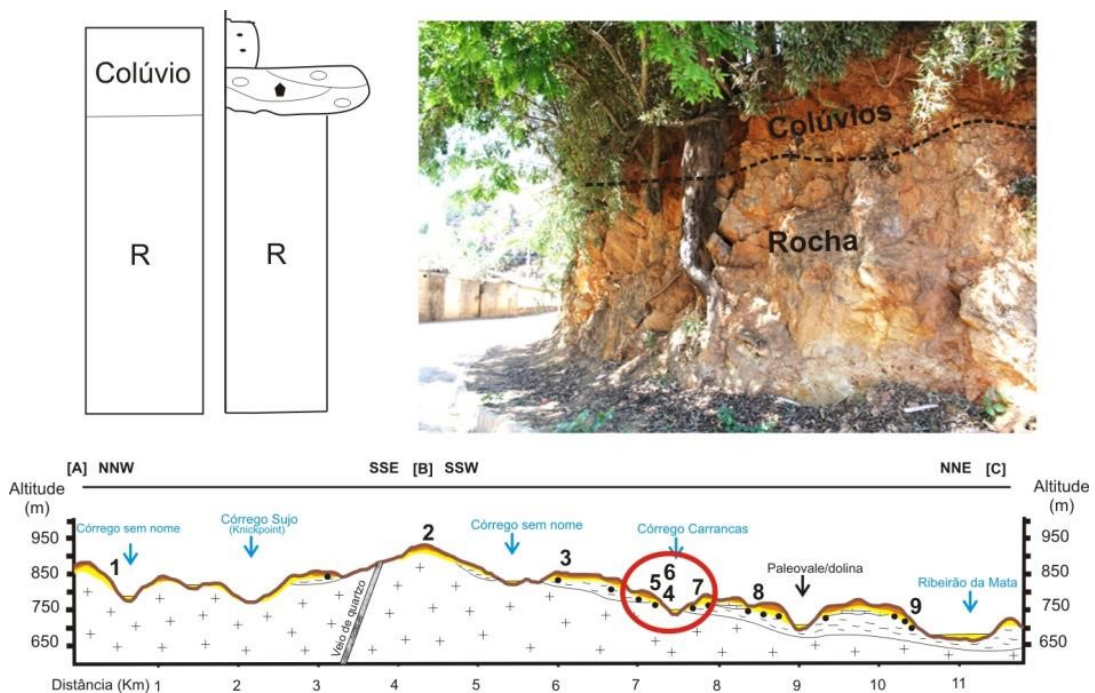


À cerca de 10 m para montante na seção lateral as coberturas colúviais se tornam mais espessas, com ~1 m, contendo as concentrações dos maiores fragmentos de quartzo encontrados em campo. Nesse trecho os quartzos são significativamente arredondados e possuem tamanho médio de 20 cm de diâmetro, em meio a outros menores de cerca de 7 cm, em uma matriz fina inconsolidada. Esses materiais são interpretados como colúvios mobilizados pela gravidade em virtude de sua pouca regularidade na seção lateral, bem como o contexto regional indicar que em temporalidade de tempo longo houve energia o suficiente para movimentar fragmentos grossos na superfície, na qual hoje os quartzos se mostram

como reliquias dessa temporalidade. Por fim, no trecho exumado dessa seção lateral, e correspondendo à porção mais elevada na vertente, encontram-se coberturas finas colúviais, em discordância com as alteritas do Membro Pedro Leopoldo de modo que esporadicamente são encontrados grãos por volta de 2 cm de quartzos subarredondados no contato entre os finos e a alterita.

Próximo da zona de confluência entre os córregos Carrancas e Sujos, a seção 6 também apresenta outro tipo de organização desses materiais colúviais. Isto em razão de compreender depósitos colúviais diretamente suportados por rochas graníticas e anfibolitos do Complexo Belo Horizonte em contato discordante (Figura 42). Nesse trecho, os granitos possuem sinais de alterações geoquímicas em sua estrutura. Todavia, ainda constituem rochas matrizes com coberturas colúviais finas acima contendo seixos subarredondados. Essa seção observada foi interpretada como a exumação de rochas do embasamento, provavelmente pela dissecação da rede hidrográfica, na qual posteriormente foram depositados materiais colúvionares. Em condições atuais, esses colúvios apresentam pedogênese incipiente sobre seus materiais finos inconsolidados.

**Figura 42:** Seção 6 que representa colúvios posicionados diretamente sobre o complexo cristalino.



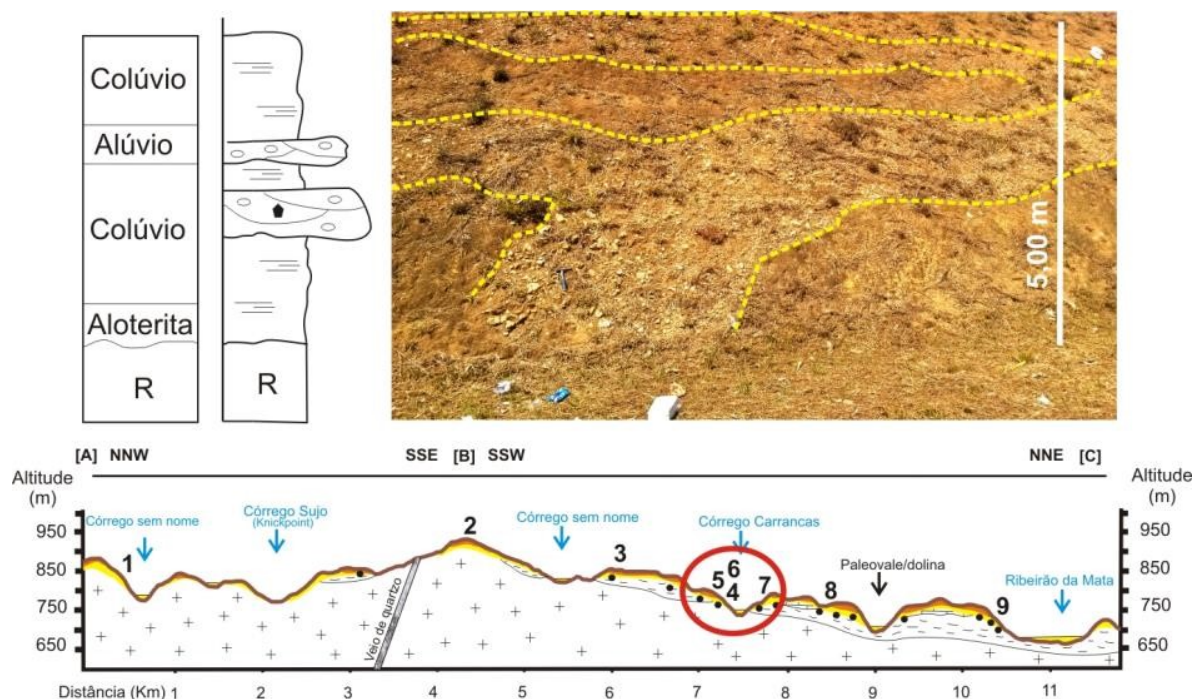
Enquanto as seções 4 a 6 representam diferentes organizações de depósitos colúviais na zonalidade central da bacia do córrego Sujo, as seções 7, 8 e 9



envolvem características tipicamente encontradas nas adjacências do córrego Sujo a partir da porção central da bacia até a foz no ribeirão da Mata.

A seção 7 está posicionada nas imediações do córrego Sujo e compreende organizações de fragmentos de quartzo com características tanto aluviais quanto colúviais, em meio a uma matriz fina também de gênese colúvial (Figura 43). Isto é, há uma mescla de cascalhos bastante arredondados e fraturados juntos a outros de arestas cortantes e tamanhos variados. Em profundidade esses materiais colúviais finos estão mesclados com alterações *in situ* das rochas do Membro Pedro Leopoldo.

**Figura 43:** Seção 7 indica cascalhos colúviais que foram posteriormente incorporados a uma dinâmica fluvial nas imediações do córrego Sujo.



Essa organização é interpretada como cascalhos cuja gênese se assemelha aos demais quartzos encontrados nas imediações, isto é, movimentos gravitacionais de massas que, em alguns locais, sugere ter havido energia suficiente para mobilizar grandes blocos de quartzo. A seção 7 ainda apresenta materiais colúviais que tiveram contribuição hídrica em ambiente, sobretudo, de calmaria em sua remobilização. Isto é, nesse trecho os materiais colúvionados podem ter tido a contribuição posterior de acúmulos de águas fluviais e/ou pluviais responsáveis por mobilizar e selecionar determinadas frações granulométricas na seção vertical, bem

como acúmulos de argilas em virtude da posição topográfica de depressão em relação ao entorno e águas calmas. De maneira localizada, em alguns trechos é possível observar alinhamentos concentrados de quartzos de cerca de 3 cm de diâmetro suportados entre si, cujo entorno possui a mescla de finos argilosos e cascalhos mais grossos (>10 cm) em maior profundidade (Figura 44A).

**Figura 44:** Organização de colúvios reorganizados por dinâmica fluvial com a presença de couraças ferruginosas provavelmente de temporalidade superior a que gerou os colúvios.

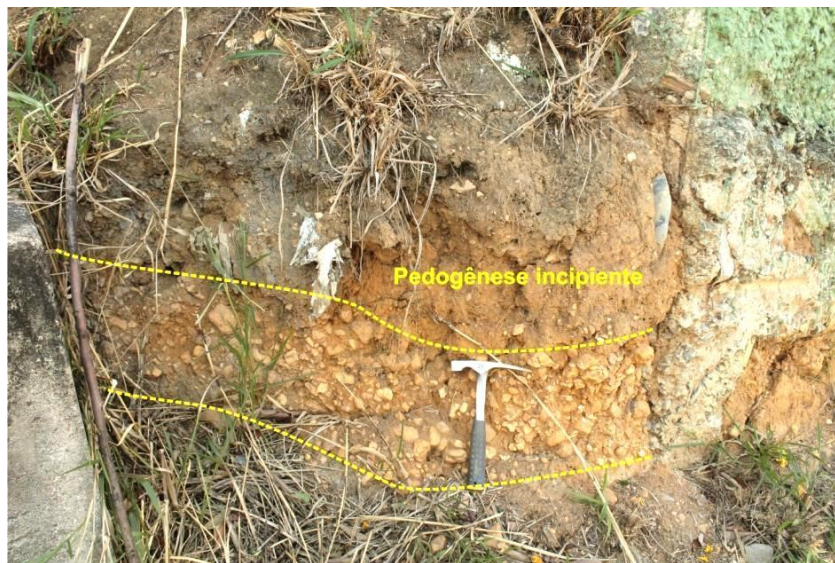


A cerca de 50 m da seção 7, é encontrada uma couraça ferruginosa que cimenta fragmentos de quartzos por volta de 3 cm abaixo de uma linha de cascalhos (Figura 44B, 44C). Conforme Leonardi (2014), para que essa cimentação se concretize se faz necessário que o ambiente possua geoquimicamente comportamento redutor cujo Fe e Mn tornam-se móveis e, posteriormente, sejam precipitados ao contato com o oxigênio. Ainda que essa couraça esteja em contexto de ambiente que possa favorecer processos hidromórficos, sua gênese pode se remeter a uma temporalidade anterior aos fenômenos que coluvionamentos observados nos materiais da bacia investigada. Isto é, a couraça encontrada se apresenta de maneira relativamente pontual, cuja dimensão sugere que foi necessária uma longa temporalidade e continuidade dos processos que deram a

gênese a esses materiais. Em vista que esse trecho incorpora materiais coluviais em uma dinâmica hidrológica, a couraça observada pode corresponder a um material formado em dado ambiente anterior, sendo posteriormente transportado.

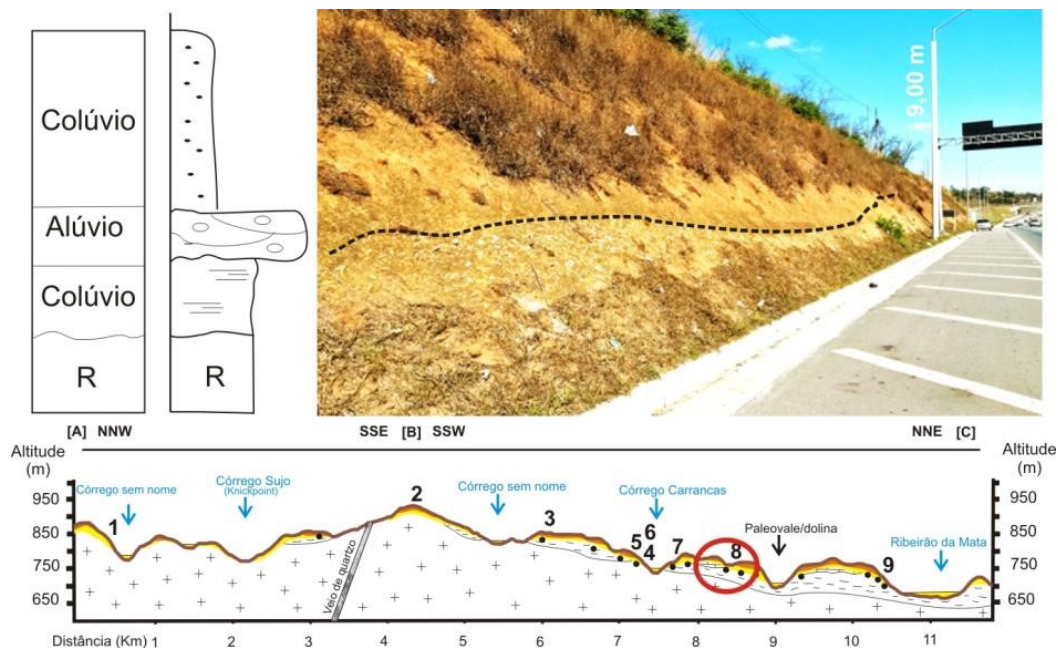
Nas imediações da seção 7, também é encontrada uma sequência relativamente semelhante à seção 4 na qual há um colúvio com concentração de fragmentos grossos (~ 5cm), cujos materiais subjacentes são finos, além de uma pedogênese incipiente próximo da superfície (Figura 45).

**Figura 45:** Exemplo de cascalhos com sinais de pedogênese *in situ* incipiente.



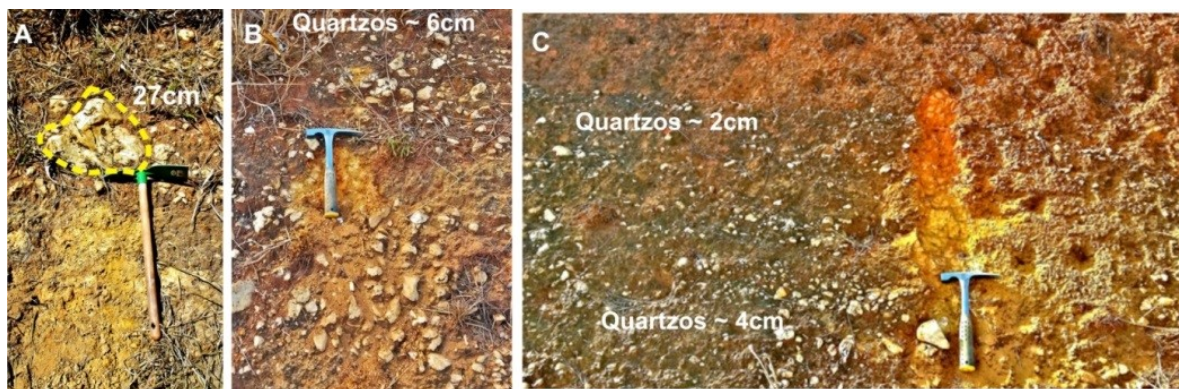
A seção 8 encontra-se à jusante na bacia e apresenta características que diferenciam esses materiais daqueles observados a montante na bacia. Nesse trecho, há uma relativa seleção de fragmentos de quartzo subarredondados por volta de 3 a 6 cm de diâmetro, em meio a uma espessa matriz fina argilosa coesa. Esses materiais finos possuem o desenvolvimento de uma pedogênese, ao passo que, abaixo dos cascalhos, os materiais tornam-se mais semelhantes a reliquias altertícos misturados a finos mobilizados (Figura 46).

**Figura 46:** Seção 8 indica uma seção lateral de cascalhos aluviais de gênese inicial colúvial, sendo seus materiais com desenvolvimento pedogenético *in situ*.



Nessa seção 8, de maneira singular, é encontrado fragmento de quartzo de 27 cm de diâmetro, semelhante àqueles encontrados na zonalidade central da bacia (Figura 47). Esses cascalhos também possuem diferenciação em sua organização lateral, mediante alguns trechos concentrando fragmentos por volta de 6 cm ao passo que em outros trechos esses fragmentos podem chegar a 2 cm. Na Figura 47B, esses cascalhos apresentam uma granodecrescência cuja porção superior possui os menos fragmentos ao passo que em profundidade há um aumento em suas dimensões médias.

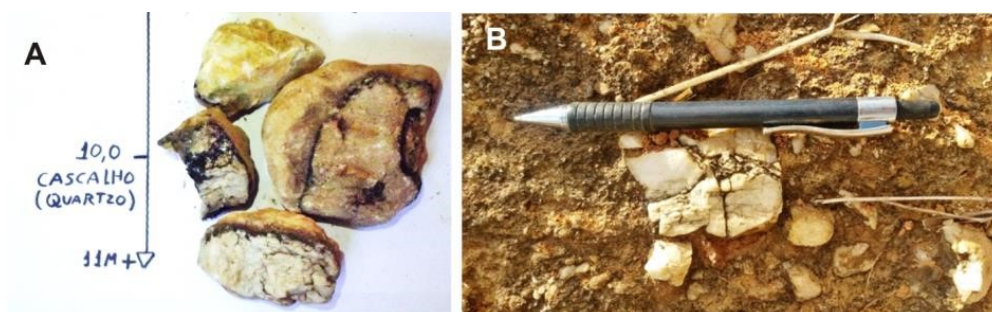
**Figura 47:** Variabilidade da organização dos cascalhos de quartzo na Seção 8.



Os quartzos nessa seção, de maneira geral, apresentam anéis cristalizados de óxidos de manganês, bem como preenchimentos das fraturas existentes nos

cristais de quartzo (Figura 48). O potencial redox do Mn é menor que o Fe, o que torna o Mn mais móvel que o Fe, precipitando-se primeiro. Isso sugere que as condições do ambiente não necessitem alterações bruscas, porém, é necessário haver o contato relativamente perene e calmo com a água.

**Figura 48:** Precipitados de manganês nos cristais de quartzo.

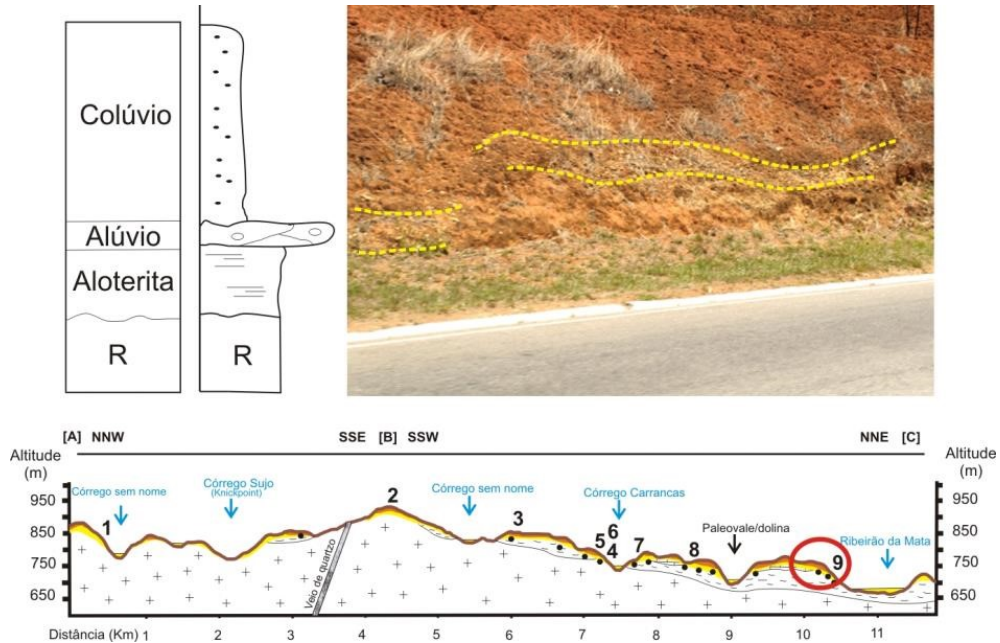


Esse trecho, caracterizado por espessas coberturas pedológicas desenvolvidas a partir de colúvios finos, associada a uma organização relativamente regular dos fragmentos de quartzos são interpretados como cascalhos que uma vez estiveram associados a fenômenos de movimentos gravitacionais de massa, que posteriormente, houve sua incorporação por uma rede fluvial remobilizando-os. Posteriormente, esses materiais alúvio-colúviais estiveram em ambiente que favoreceu a colmatação geral desses materiais por meio finos, cujos fragmentos grossos conservam cristalizações associadas a ambiente hídrico calmo, porém de temporalidade mais curta em relação ao identificado na seção 7, em vista de que não são observados encouraçamentos ferríferos nesse trecho.

Por fim, próximo da confluência do córrego Sujo com o ribeirão da Mata, ainda são encontradas concentrações de quartzo por volta de 4 cm, de maneira linear e em menor recorrência. Essas faixas de cascalho possuem quartzos tipicamente leitosos, encontrados ao longo das demais seções apresentadas, bem como possuem quartzos fibrosos tipicamente encontrados no Planalto de Confins, para além da margem esquerda do ribeirão da Mata. A seção 9, dessa maneira, representa espessas coberturas pedológicas relativamente mais avermelhadas em relação àquelas alaranjadas encontradas ao longo da bacia do córrego Sujo (Figura 49). Os cascalhos também encontram-se no contato a materiais mais amarelados, o

que pode sugerir tanto coluvionamento por finos como na seção 8, como a alteração do Membro Pedro Leopoldo.

**Figura 49:** Esta Seção 9 encontra-se às margens do ribeirão da Mata e possui materiais semelhantes encontrados na borda do Planalto de Confins.



Esses cascalhos na margem direita do ribeirão da Mata e sua cobertura pedológica são relativamente semelhantes às cascalheiras encontradas na margem esquerda, no *front* de elevação para o Planalto de Confins (Figura 50). Esses fragmentos, por sua vez, são relativamente menores (~2 cm) em relação àqueles posicionados na foz do córrego Sujo, e apresentam alguns grãos de constituição fibrosa e subangular junto a outros subarredondados.

**Figura 50:** Exemplo de materiais na borda do Planalto de Confins de composição semelhante à Seção 9.

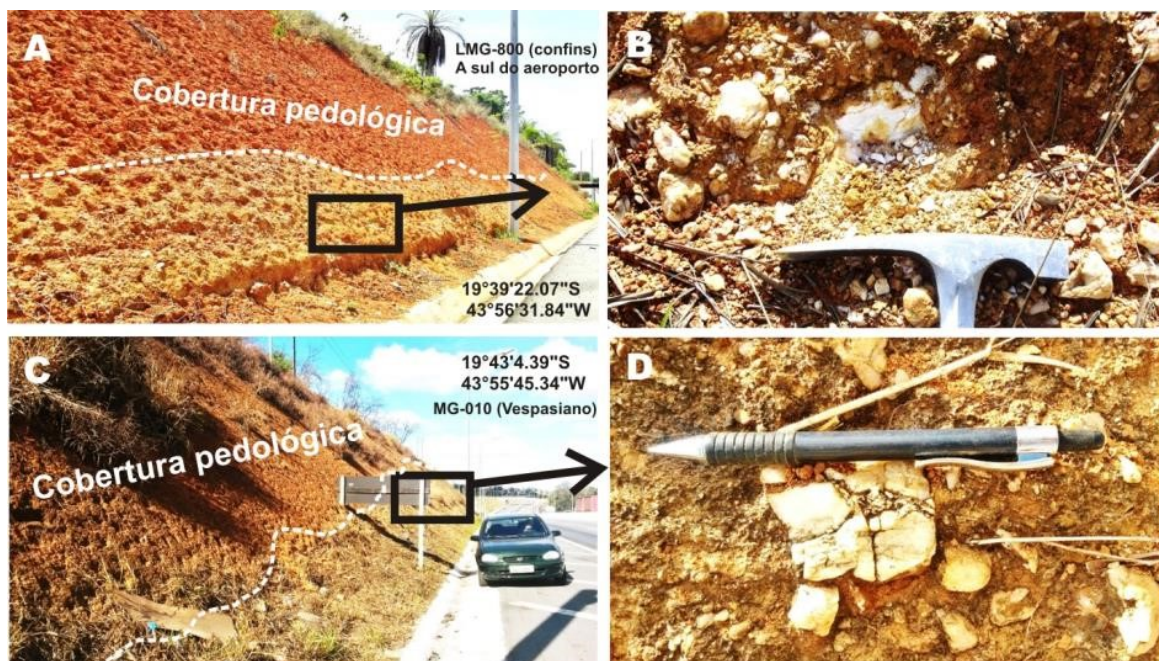


Essas organizações que margeiam o ribeirão da Mata são interpretadas como materiais que podem representar o desmonte da borda do Planalto de Confins e, por

consequente, a morfogênese de seu *front*, que se encontra relativamente dissecado atualmente, sendo o ribeirão da Mata como um possível agente que esculptou esse trecho. Para a bacia do córrego Sujo, por sua vez, são encontrados materiais que sugerem uma gênese de relativa mobilidade de suas coberturas superficiais. Todavia, representam os fenômenos que ocorreram no Planalto de Vespasiano os quais não possuem interferência dos materiais provenientes do Planalto de Confins.

Se a evolução da borda do Planalto de Confins e do Planalto de Vespasiano possuiu relativo diacronismo em sua morfogênese, ao comparar essas áreas com os materiais encontrados no platô do Planalto de Confins, notadamente há uma relativa temporalidade em comum entre os materiais da borda e da depressão de Vespasiano. Isto é, os materiais situados no interior do Planalto de Confins aparentemente estão em uma maior temporalidade sob a ação biogeoquímica *in situ* de seus materiais, quando comparados à relativa mobilidade em sua borda e na Depressão (Figura 51).

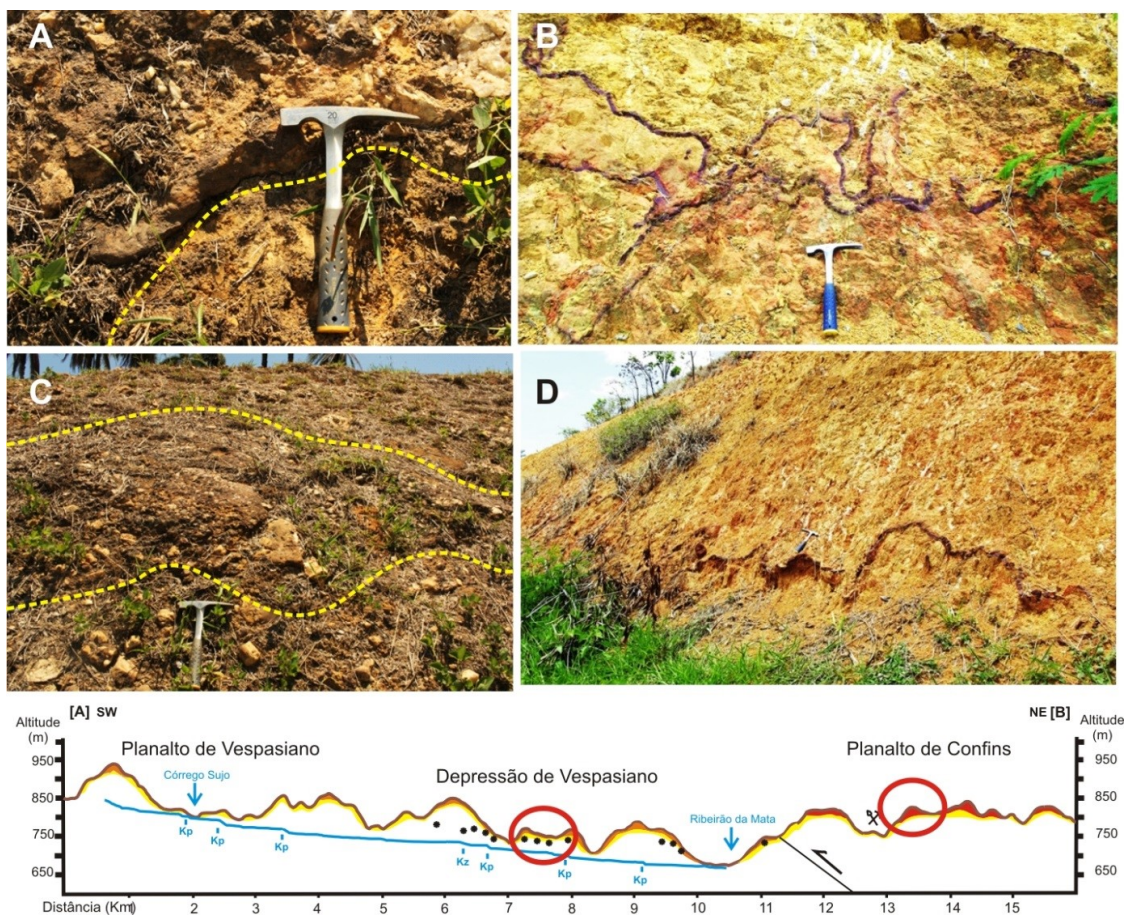
**Figura 51:** Comparação entre cascalhos de quartzo encontrados no alto do Planalto de Confins (A e B) em relação àqueles encontrados na bacia do córrego Sujo (C e D).



Enquanto a seção situada na bacia do córrego Sujo sugere reliquiais de uma sucessão de momentos, cuja gênese envolve tanto movimentos gravitacionais quanto uma dinâmica hidrográfica, na seção observada no Planalto de Confins os cascalhos de quartzos são relativamente mais angulosos, cujos cristais possuem

aspectos de longo-termo permanecidos *in situ*, e perturbados pela ação biogeoquímica. Esses cascalhos no Planalto ainda estão em meio a uma espessa cobertura pedológica coesa e estruturada cuja gênese, segundo Piló (1998) e Hoffman (2014), pode derivar de alterações de formações pelíticas sobre os calcários puros do Bambuí. Outra característica que diferencia a bacia do córrego Sujo do Planalto de Confins é a organização de couraças ferruginosas. No topo do Planalto de Confins às margens da rodovia MG-010 foi observada uma organização regular linear subhorizontalizadas de cristalizações bem estruturadas de óxidos de ferro com areias de quartzo, ao passo que na porção central da bacia do córrego Sujo foi encontrada uma concreção irregular, que cimenta variados cristais de quartzo grossos, por volta de 3 cm em sua matriz, em conjunto a argilas desferruginizadas (Figura 52).

**Figura 52:** Comparação entre couraças ferruginosas presentes na bacia do córrego Sujo (A e C) e no alto do Planalto de Confins (B e D).



A comparação dessas couraças revela que a história evolutiva da área ocorreu de maneira diacrônica, isto é, diferentes processos que culminaram na atual



estruturação desses materiais. Em síntese, a bacia do córrego Sujo apresenta suas cabeceiras de drenagem a cerca de 250 m acima da foz no ribeirão da Mata, sendo possível encontrar espessas coberturas pedológicas, principalmente, sobre as rochas do embasamento cristalino. Em alguns trechos de interflúvio e, sobretudo, na rampa de declinação geral topográfica da bacia, por sua vez, notadamente há a recorrência de alteritas exumadas associadas a finas coberturas colúvias em seu topo em contato discordante. O caimento topográfico regional é relativamente suavizado a partir da zonalidade central da bacia, e os colúvios apresentam fragmentos de quartzo bastante arredondados e em maior dimensão.

Para jusante dessa porção central, isto é, o trecho que possui uma maior temporalidade na consolidação do leito do córrego Sujo, ainda encontram-se materiais característicos dos movimentos gravitacionais que podem ter dado origem aos colúvios à montante. Entretanto, nesse trecho próximo da foz esses colúvios assumem aspectos aluviais em sua organização, o que sugere a rede hidrográfica pode ter desempenhado um papel na reorganização desses materiais grossos, uma vez mobilizados. Pontualmente na zona de depressão associada a colmatações do córrego Sujo, na porção central da bacia ainda são encontradas couraças ferruginosas que cimentam fragmentos de quartzo, ao passo que é recorrente haver precipitação de óxidos de manganês e ferro na superfície dos quartzos nos demais colúvios observados. A Figura 31 representa uma seção esquemática contendo as principais diferenciações dos materiais ao longo de uma sequência de caimento topográfico.

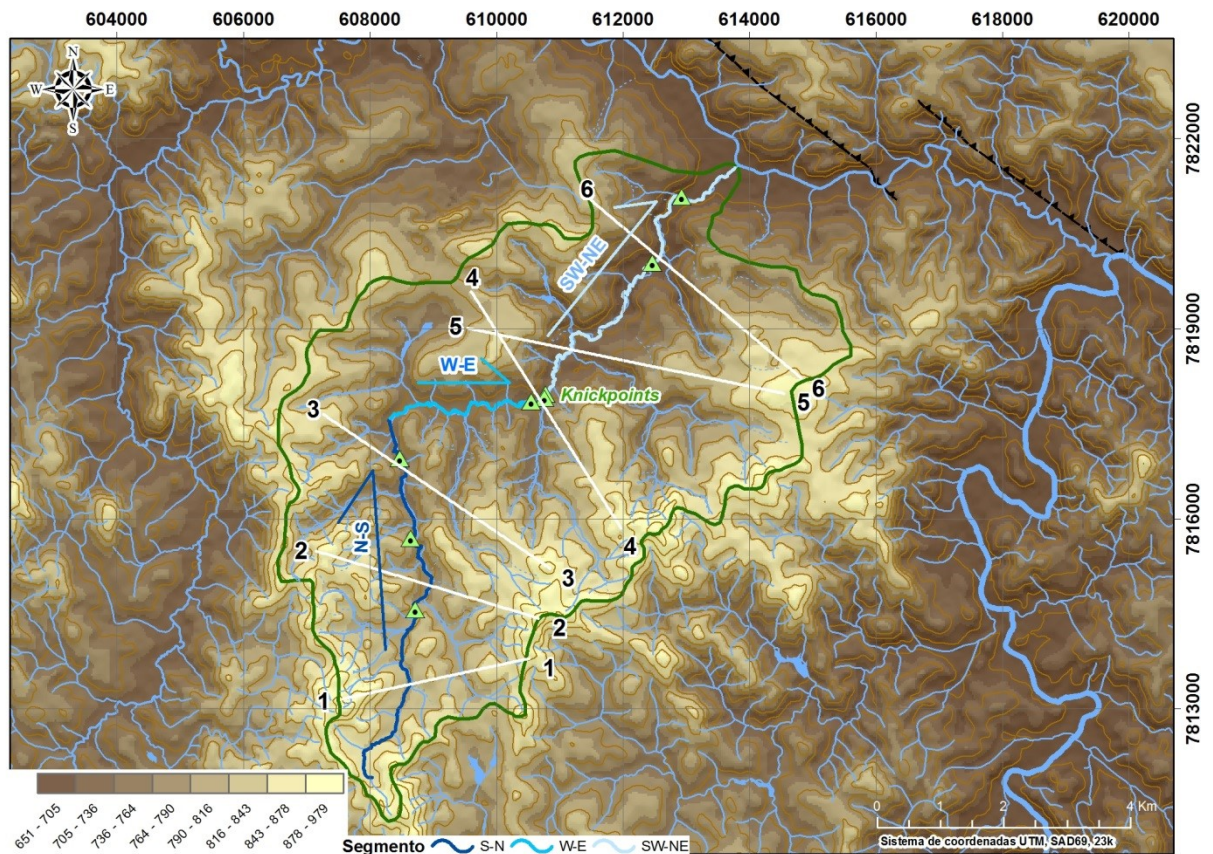
### **3.3.2.2 Rede hidrográfica e aspectos morfoestruturais**

Enquanto as investigações sobre as coberturas pedológicas podem fornecer registros sobre o resultado de antigos processos, tais como mobilidades motivadas por movimentos gravitacionais e fluxos fluviais, bem como alterações biogeoquímicas *in situ*, outro componente espacial que pode marcar registros na superfície é a organização da rede de drenagem e respectivas formas esculpturadas.

O córrego Sujo corresponde a um afluente da margem direita do ribeirão da Mata, próximo de desaguar no rio das Velhas. Ao longo de uma extensão de cerca de 16 km o córrego Sujo pode ser segmentado em três principais trechos, sendo o

primeiro segmento de sentido, sobretudo, S-N, ao longo de 6 km a partir de suas cabeceiras até a mineradora ICAL, na rodovia MG-424, no município de São José da Lapa (Figura 53). Nesse primeiro segmento são identificados três *knickpoints* que geram trechos de corredeiras no leito fluvial. O segundo segmento possui menor extensão, cerca de 3 km, e ocorre uma inflexão angular que direciona o córrego em sentido W-E (Figura 53). Ao final desse segundo segmento uma zona de *knickpoints*, isto é, *knickzone*, de maior amplitude de declividade e trechos encachoeirados marcam o início do terceiro segmento. Este, por sua vez, passa a ser orientado em sentido SW-NE e possui *knickpoints* esparsos e pontuais, que geram trechos de maior corredeira em seu leito fluvial (Figura 53).

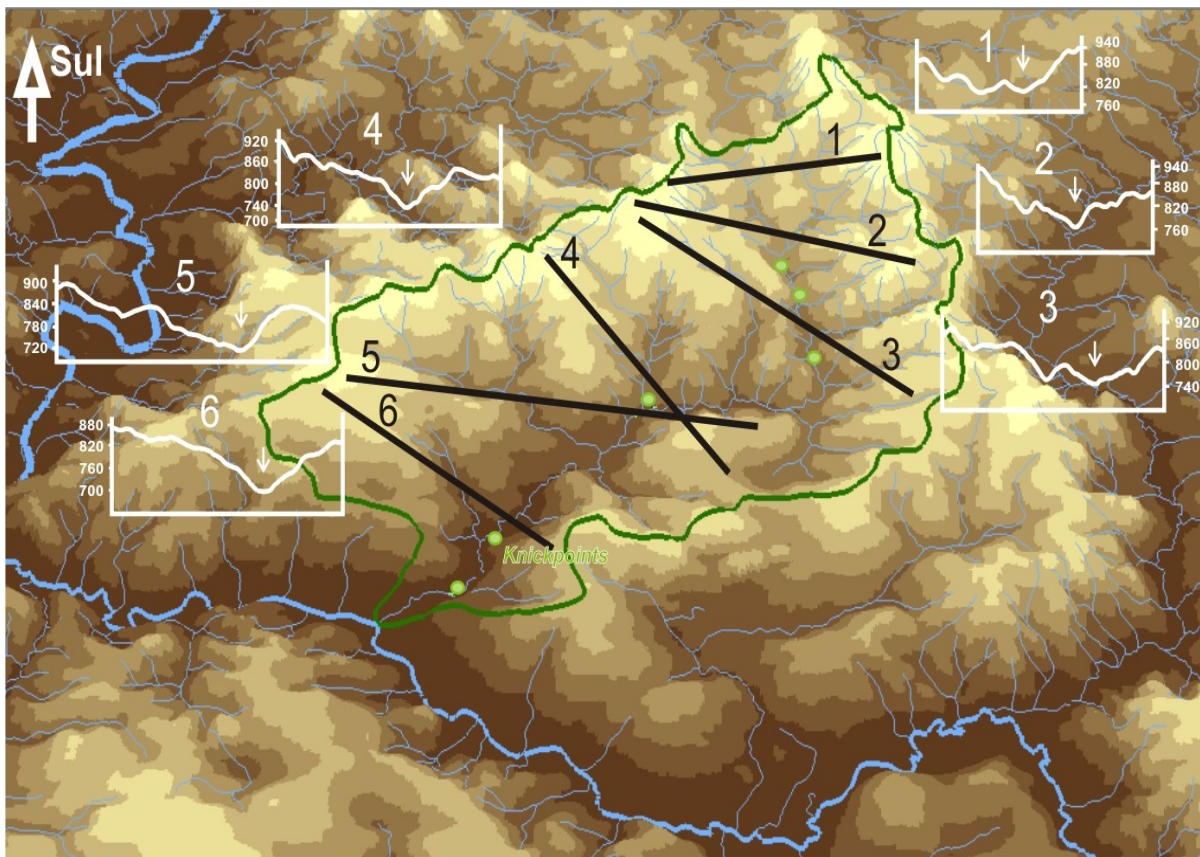
**Figura 53:** Orientação geral do córrego Sujo em relação a sua bacia hidrográfica, bem como a indicação de seis seções topográficas transversais.



A partir da elaboração de seis (6) transectos que compreendem o talvegue drenado pelo córrego Sujo e seus interflúvios (Figuras 53 e 54), foi observado um relativo padrão morfológico assimétrico dos vales, nos quais os interflúvios da margem direita são relativamente mais elevados que os da margem esquerda.

Geralmente a margem direita do talvegue drenado pelo córrego Sujo tem um caimento geral topográfico subhorizontalizado ao passo que sua margem esquerda possui maior angularidade de suas vertentes. Nesse aspecto, o córrego Sujo encontra-se posicionado preferencialmente à esquerda, no sopé dessas vertentes inclinadas (Figura 54). Essa organização morfológica é observada, sobretudo, no trecho jusante do córrego Sujo, pelos transectos 4,5 e 6.

**Figura 54:** Representação espacial sobre a organização topográfica de cada transecto e respectivo talvegue drenado pelo atual córrego Sujo.



O transecto 4 possui a particularidade de representar a principal zona de rupturas topográfica no curso fluvial do córrego Sujo, além de corresponder a inflexão que altera o curso de uma orientação W-E para SW-NE (Figura 54). Nesse trecho há uma sucessão de três (3) *knickpoints*, que juntos formam uma *knickzone* de ruptura topográfica de 20m e 8° de declividade. Dada essa amplitude de ruptura, esse trecho possui pequenas quedas d'água sobre rochas do embasamento cristalino (Figura 55).

**Figura 55:** Orientação geral do córrego Sujo na porção central de sua bacia hidrográfica, em relação a seus *knickpoints* de maior ruptura topográfica.



Outros *knickpoints* foram identificados de maneira esparsa, resultando em pequenos trechos de corredeira no curso d'água (Figura 56).

**Figura 56:** *Knickpoint* adjacente à Seção 8 que reflete em uma corredeira no córrego Sujo.



Os transectos 2 e 3 situam-se a montante do *knickzone* e ainda apresentam a condição de maior altitude dos interflúvios à direita desse córrego como o observado pelos transectos 4, 5 e 6. Todavia, nesse trecho é observada a presença de um talvegue drenado por um afluente do córrego Sujo que, aparentemente, dissecou a superfície de maneira mais incisiva que o próprio córrego principal e que, atualmente, representa uma pequena corrente d'água perene em seu leito (Figura 57). Nesse transecto 3 o leito do córrego Sujo também possui relativa anomalia morfológica de seu vale, em comparação aos demais transectos. Isto é, nessa área o córrego drena por uma superfície topográfica relativamente mais regular e menos dissecada na qual apresenta, ainda, áreas topograficamente planas.

O transecto 1, por sua vez, corresponde às cabeceiras mais distais da foz do córrego Sujo. Esse é o único trecho que o interflúvio da margem direita é inferior ao

da margem esquerda. Esse transecto 1 representa o talvegue de dois principais canais fluviais, que aparentemente possui interferência em sua organização espacial de bacias de drenagem adjacentes. Isso em razão desse trecho corresponder a um tríplice divisor hidrográfico, entre águas que drenam diretamente para o rio das Velhas a leste, águas que drenam para a bacia do córrego Onça, em direção a Belo Horizonte, e outras que compõem a bacia do córrego Sujo. Os interflúvios da margem direita da bacia investigada são relativamente mais rebaixados nesse trecho, o que pode se relacionar aos afluentes adjacentes que drenam para o rio das Velhas e, por conseguinte, podem ter dissecado a superfície de maneira intensiva em relação à borda esquerda das cabeceiras do córrego Sujo.

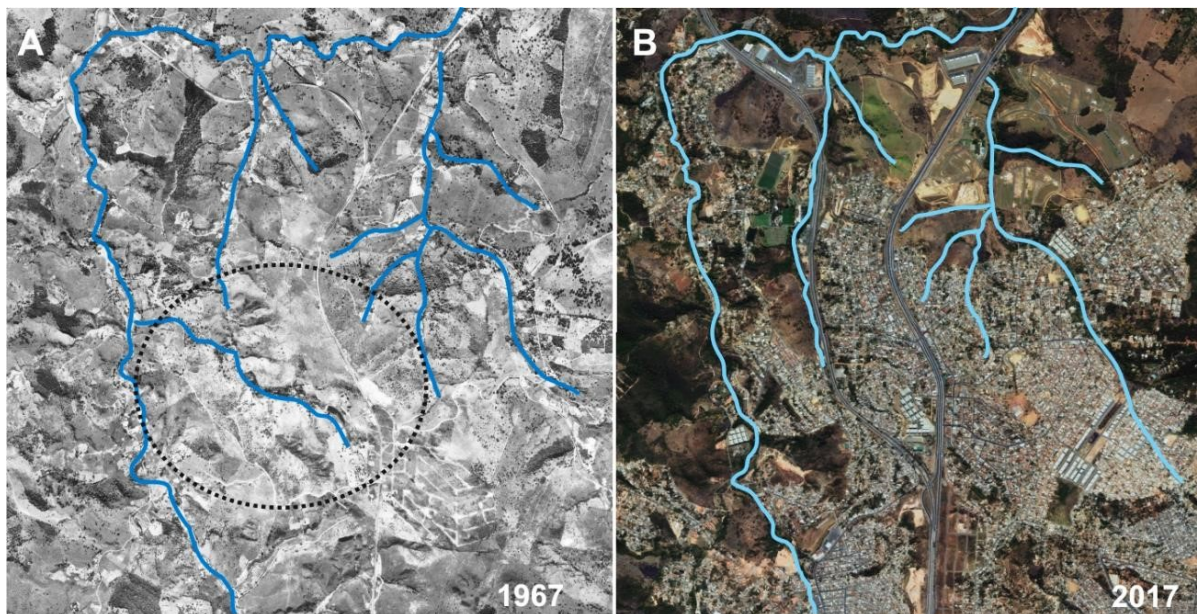
De maneira geral, o córrego Sujo possui afluentes que desaguam, ou desaguavam, diretamente em seu leito, e que revelam diferentes organizações espaciais de sua rede hidrográfica em relação a cada segmento identificado para o córrego Sujo. No trecho a montante, cujo córrego principal assume orientação N-S, seus afluentes possuem orientação, sobretudo, W-E, cujas cabeceiras situam-se nas vertentes dissecadas da margem esquerda do Planalto de Vespasiano. Nesse trecho, no domínio do Planalto de Vespasiano na margem direita do córrego Sujo, ainda há duas formas lineares e deprimidas morfologicamente semelhante a vales em orientação N-S, que são relativamente paralelas ao atual córrego principal. Nesses talwegues, em alguns trechos, são observados pequenos fluxos perenes de água (Figura 57), o que pode sugerir que essas formas foram dissecadas anteriormente sob outro regime hidrológico de maior intensidade.

**Figura 57:** Área topograficamente plana de um afluente que deságua próximo ao principal *knickpoint* do córrego Sujo.



Notadamente as possíveis cabeceiras que alimentavam esses cursos fluviais encontram-se atualmente na porção mais ocupada e urbanizada dessa bacia hidrográfica, e não se descarta a possibilidade dessa ocupação ter interferido na dinâmica hídrica desses vales. Todavia, por meio de fotografias aéreas de 1967, observa-se que esses afluentes já possuíam uma situação de baixa capacidade de incisão vertical desvinculada de uma ocupação antrópica, visto que suas cabeceiras nesse ano situavam-se em contexto de pouca interferência urbana (Figura 58).

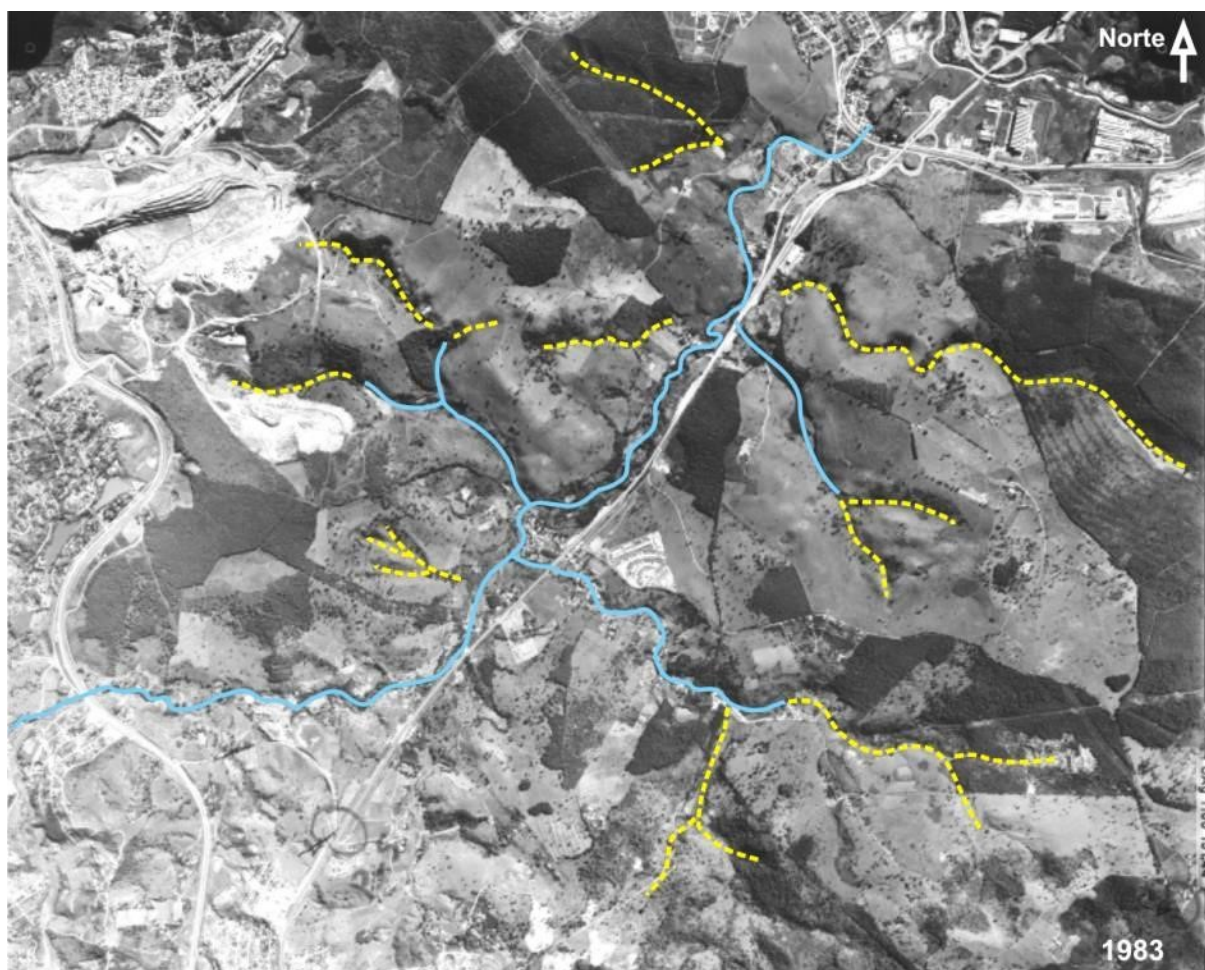
**Figura 58:** Imagens comparativas entre 1967 e 2017 para a porção centro-montante da bacia.



O principal impacto antrópico observado na rede hidrográfica é o aproveitamento dos talvegues de dois afluentes do atual córrego Sujo para a instalação da rodovia MG-424. Pela imagem de 1967 observa-se um arranjo hidrográfico mais próximo de sua organização natural, no qual pode indicar uma possibilidade sobre o atual afluente paralelo N-S possuir um talvegue mais dissecado que o córrego Sujo. Isto é, em 1967 havia em leito natural um afluente de menor extensão que drenava em sentido SE-NW para o córrego Sujo, cujo vale possui forte dissecção e relativo alinhamento com o afluente N-S, que deságua a jusante. Esse afluente e seus adjacentes, em termos geomorfológicos, podem ser uma dica sobre a maneira como o perímetro da bacia investigada pode ter se estruturado, e demanda maiores investigações.

Enquanto os seguimentos S-N e W-E do córrego Sujo a montante apresentam particularidades em sua rede hidrográfica, o seguimento SW-NE, por sua vez, possui uma rede de afluentes e vales que drenam perpendicularmente ao córrego Sujo, sobretudo, em orientação SE-NW (Figura 59).

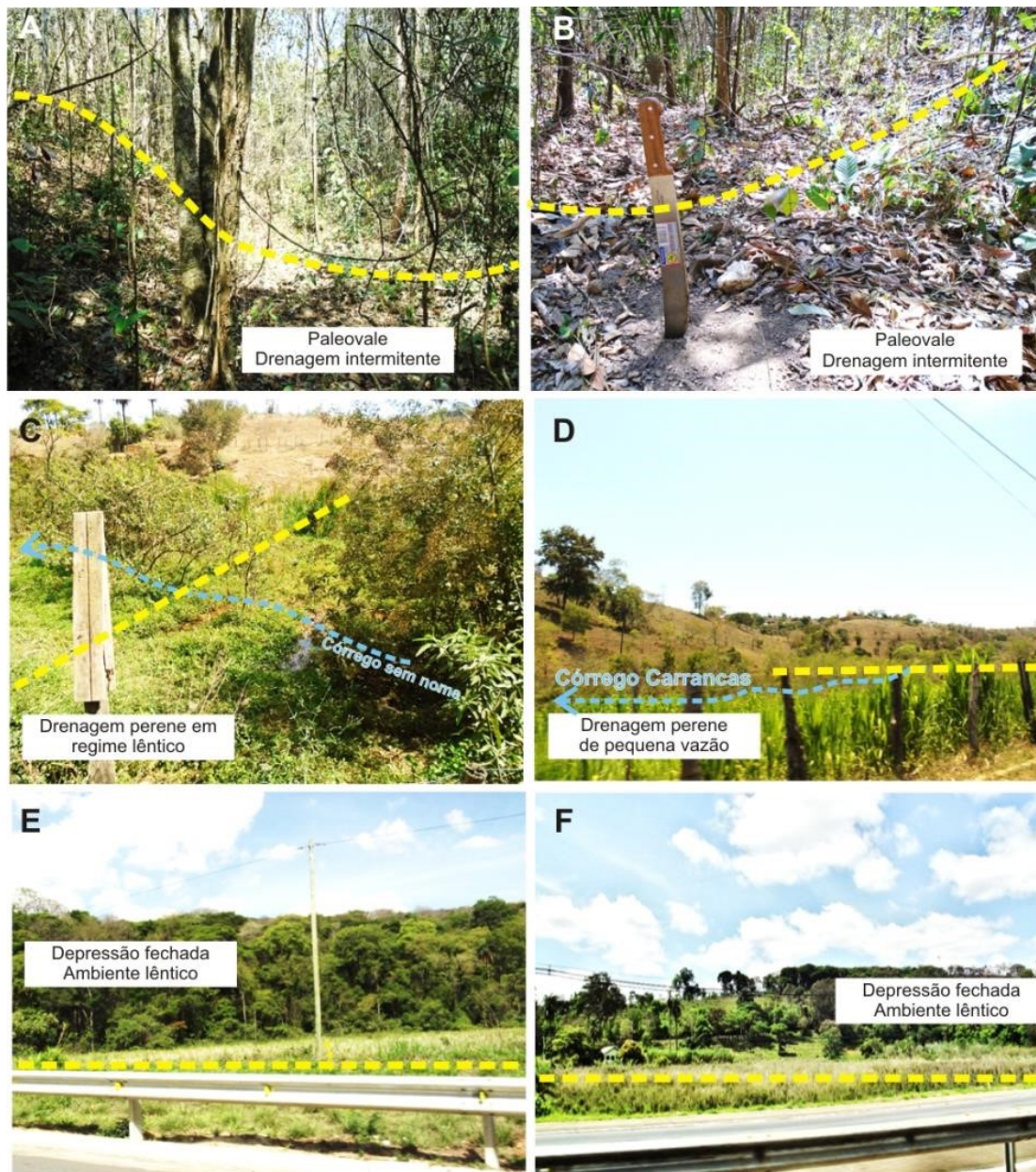
**Figura 59:** Organização da rede hidrográfica em 1983 e lineamentos de talvegues desconectados a canais de cursos d'água.



Uma característica recorrente a quase todos os afluentes observados na bacia do córrego Sujo é suas atuais capacidades e competências observadas. Os cursos d'água, em sua maioria, possuem pequena vazão e relativa tranquilidade de seu fluxo, associados a vales que apresentam uma significativa área topograficamente plana, nas imediações do leito fluvial, bem como associados geralmente a amplos vales dissecados. Essa condição ocorre tanto para os afluentes próximos da foz do córrego Sujo no ribeirão da Mata, por volta de 700 m

(Figura 60A) quanto para aqueles situados nas cabeceiras de drenagem a 900 m (Figura 60B).

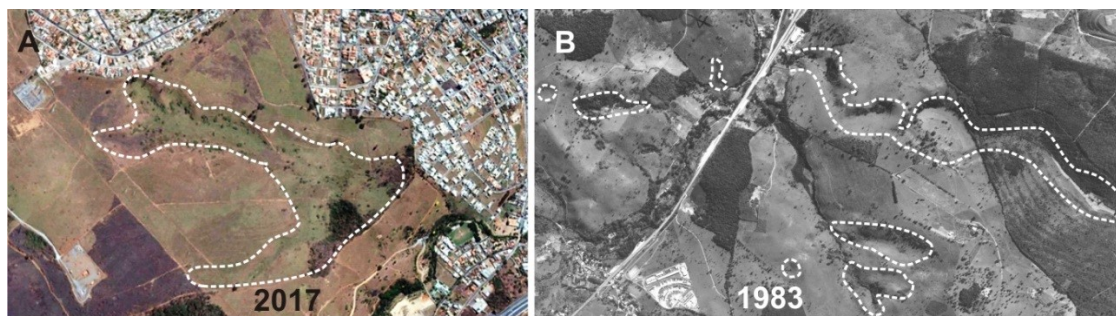
**Figura 60:** Aspectos recorrentes de ambientes relativamente solapados e de águas calmas.



Há depressões fechadas na porção jusante da bacia investigada, cuja morfologia na superfície se assemelha a vales fluviais, isto é, vales-cegos, todavia, não possuem qualquer curso d'água em seu talvegue (Figura 61). Essas depressões atualmente se caracterizam como uvalas e dolinas, desenvolvidas sobre rochas carbonáticas do Membro Lagoa Santa.



**Figura 61:** Representação de depressões fechadas correspondentes a dolinas sobre os carbonatos do Membro Lagoa Santa, sendo sua orientação semelhante à de um leito fluvial.

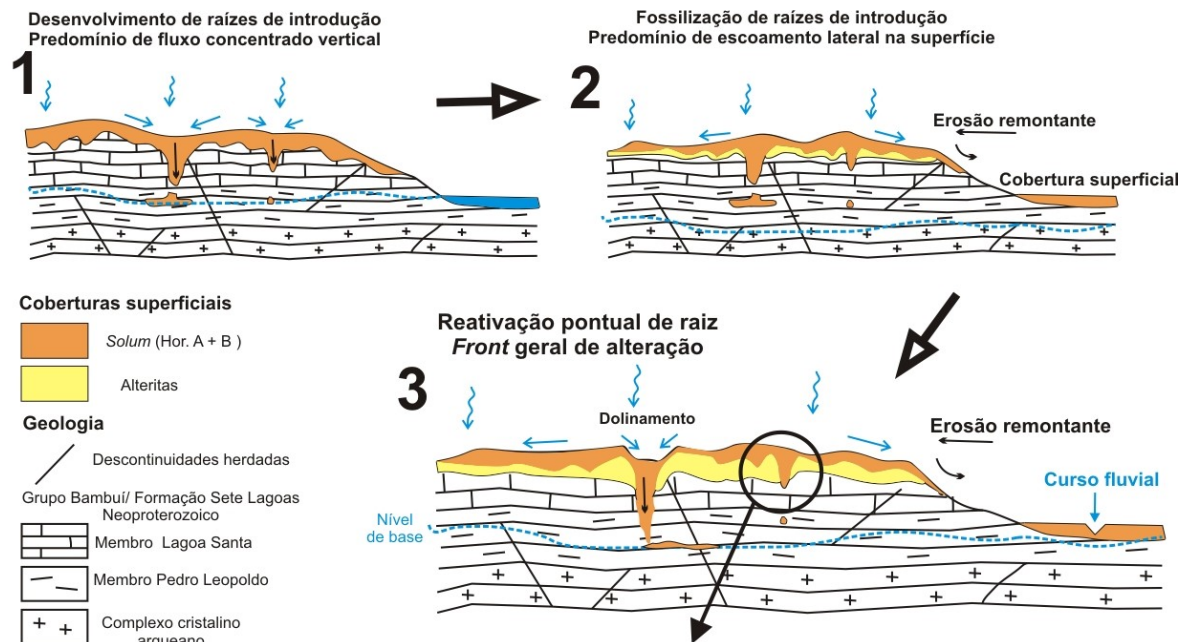


Para esse contexto observado é possível formular um modelo hipotético sobre a maneira como essas formas foram esculpidas. Uma característica recorrente na interface rocha-cobertura superficial é a presença de frondosas raízes de introdução que recortam verticalmente tanto os carbonatos do Membro Lagoa Santa, quanto os calcilitos do Membro Pedro Leopoldo. As condições ambientais para que o fenômeno de introdução ocorra, e assim originando um criptocarste, necessitam de um sistema que favoreça a percolação hídrica e o intemperismo pontual, a partir de concentrações em coberturas do manto de alteração (RODET, 2014; VASCONCELOS, 2014). Para que isso ocorra, a posição topográfica dessas coberturas correspondeu a zonas que permitiram uma hidrodinâmica de concentração das águas superficiais, sua percolação e alteração pontual, mediante o desenvolvimento de uma raiz no manto de alteração regulado, também, por uma relativa estabilidade de seu nível de base. Esse momento corresponde a um criptocarste, no qual ainda não foi realizado um sistema de introdução conectado a uma restituição. Após haver posterior conexão a raiz, por sua vez, é esvaziada resultando em uma forma cárstica de abismo, situação esta típica de um sistema cárstico (RODET, 2014).

Em vista que a superfície é dinâmica ao longo de um dado tempo-espço, aquilo que alimentava a formação de raízes pode ter cessado cujas formas foram fossilizadas e parcialmente recortadas pela topografia, conforme observado na área investigada. Posteriormente, mediante a organização de uma rede hidrográfica de escoamento superficial lateral linear, algumas dessas raízes de introdução podem ter sido parcialmente reativadas. Essa reativação relativamente pontual e representada pelas depressões fechadas e alongadas nas imediações do córrego

Sujo (Figura 61A e 61B), pode sugerir que nesses segmentos pode ter ocorrido uma conexão entre introdução e restituição a qual drenou as águas que percorriam na superfície, juntamente com as coberturas que integravam essas raízes (Figura 62).

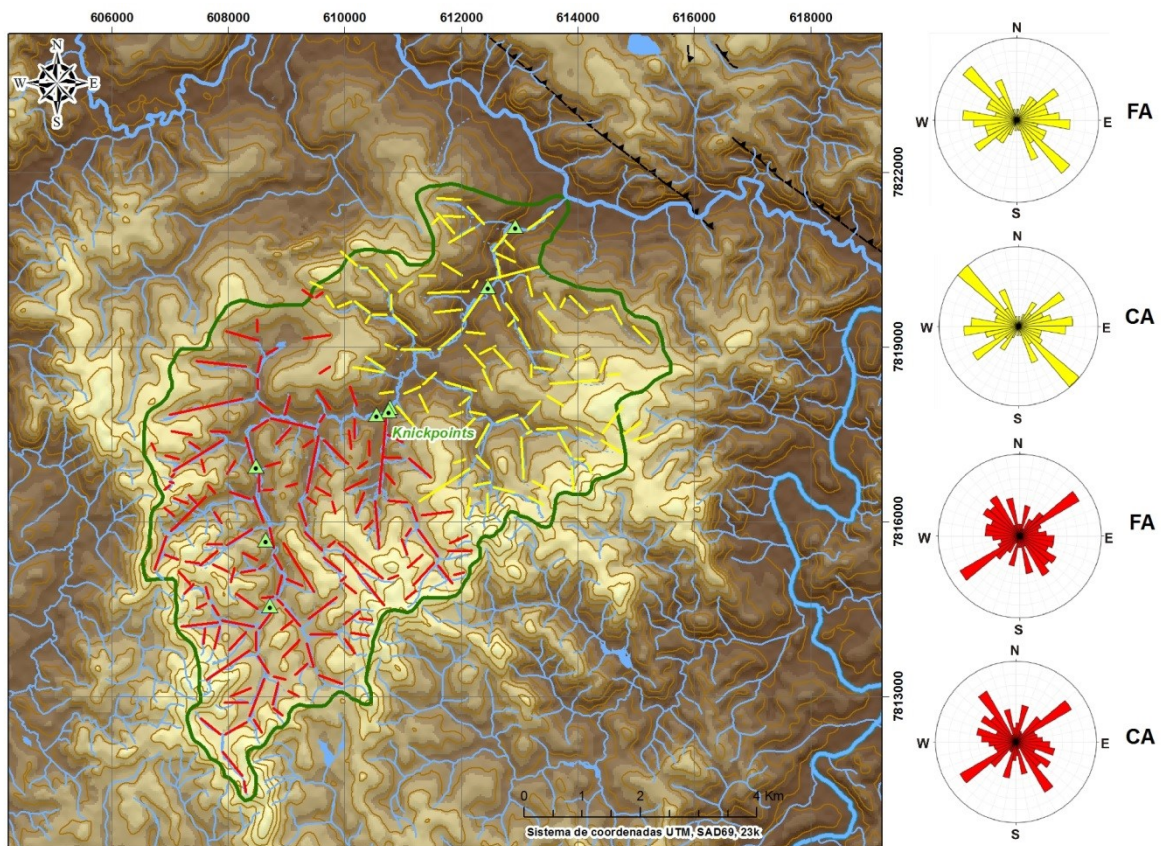
**Figura 62:** Modelo de representação esquemática sobre reativações pontuais de raízes de introdução criptocárstica mediante a reorganização superficial de uma rede hidrográfica mais recente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Enquanto a interface rocha-solo pode ter condicionado a maneira como os cursos d'água foram introduzidos na superfície, a organização, sobretudo, NW-SE desses paleovales e de parte da rede hidrográfica na bacia investigada, podem ter um componente estrutural. A partir da análise das linhas de talvegue sobre a frequência e comprimento absolutos em diagrama de rosetas, a bacia do córrego Sujo pode ser compartimentada em duas principais unidades (Figura 63).

**Figura 63:** Orientação geral dos principais lineamentos de talvegues identificados na bacia hidrográfica do córrego Sujo.



O compartimento à jusante exibe predomínio de orientação de lineamentos SE-NW, sendo coincidente tanto com as principais falhas inversas, SE-NW mapeadas por Hoffman (2014) quanto com a principal orientação dos afluentes do córrego Sujo observados nesta pesquisa. Secundariamente, as linhas de talvegue também apresentam orientação W-E e SW-NE, na qual coincide com a principal inflexão do córrego Sujo associada a uma zona de rupturas em seu leito fluvial, bem como à organização predominante apresentada no compartimento a montante. Neste, a frequência e concentração absolutas ocorrem, sobretudo, em orientação

SW-NE, sendo em representatividade de comprimento também um predomínio SE-NW. Ambos os compartimentos possuem relativa coincidência em suas principais orientações sendo que, enquanto um tem o predomínio NW-SE, no outro essa orientação aparece secundariamente, e vice-versa.

Ao se comparar a orientação desses lineamentos com o arcabouço geológico que atualmente arquiteta a área da bacia investigada, observa-se que há relativa compatibilidade entre a orientação dos talwegues e as estruturas herdadas do pré-cambriano. Esta constatação permite indicar que há pelo menos um componente morfoestrutural responsável por condicionar as formas de relevo observadas e sua atual rede hidrográfica. Enquanto os afluentes do córrego Sujo a jusante drenam perpendicularmente ao córrego Sujo em uma orientação SE-NW, o córrego Sujo, por sua vez, coincide regionalmente com a principal orientação de lineamentos encontrados principalmente no domínio a montante sobre rochas do escudo cristalino, bem como secundariamente sobre as rochas sedimentares, isto é SW-NE.

### ***3.3.3 Proposta de evolução geomorfológica da área investigada***

Mediante a investigação de campo da bacia hidrográfica do córrego Sujo mediante suas coberturas superficiais, sua estruturação morfológica topográfica e de sua rede hidrográfica, foi possível interpretar que há componentes herdados de diferentes tempos-espacos. A atual organização espacial das coberturas superficiais e as características de sua composição sugerem que houve condições ambientais que favoreceram fenômenos de energia suficiente para mobilizar materiais inconsolidados de tamanho significativo pela superfície. De maneira geral, esses materiais mobilizados são integrados essencialmente por argilas e quartzos subarredondados a subangulosos, o que ainda pode sugerir sua gênese a partir de coberturas alteradas anteriormente pela biogeoquímica. Nesses materiais transportados, isto é, colúvios, também são encontradas evidências de precipitados de óxidos de ferro e manganês, principalmente, nos quartzos. Segundo Leonardi (2014), para que esses elementos possam migrar e se precipitar é necessário que o ambiente forneça condições de relativa calma e estabilidade hídrica no qual permite que esses elementos sejam reduzidos, migrados como íons e cristalizados a partir de um núcleo maior ao contato com o oxigênio em condições geoquímica oxidante.

A estruturação morfológica topográfica da bacia investigada pode ser indicadora sobre os fenômenos que ocorreram em suas respectivas coberturas superficiais. Em algumas áreas topograficamente mais elevadas que se estruturam como o divisor hidrográfico, há considerável desenvolvimento vertical pedológico aparentemente *in situ*, ao passo que outras áreas de cabeceira, porém em posição topográfica inferior, possuem a completa exumação de alteritas tanto de rochas do complexo cristalino, quanto das rochas do Membro Pedro Leopoldo, sendo por vezes ainda apresentando fina cobertura coluvial em contato discordante. Ao longo de uma rampa geral de declinação topográfica até aproximadamente a zonalidade central da bacia nas imediações do córrego Carrancas a superfície permanece apresentando uma organização típica de coberturas coluviais sobrepostas a espessas alteritas. Esses colúvios ainda são compostos por argilominerais, areias e fragmentos de quartzo que, conforme observado em campo, se tornam maiores à medida que se aproxima da porção central da bacia, isto é, próximo das cabeceiras é comum terem por volta de 2-4cm, enquanto próximo ao leito do córrego Carrancas chegam a 30cm. Desse trecho central para jusante, por sua vez, também há recorrência desses fragmentos de quartzos. Todavia, os materiais nesse trecho podem ter sido incorporados a uma dinâmica hidrológica fluvial lótica capaz de transportar, selecionar e depositar seixos que variam entre 2-6 cm, e posteriormente ainda fornecer um ambiente hídrico lântico de temporalidade suficiente para migrar e precipitar íons de ferro e manganês.

Nessa investigação a rede hidrográfica se revelou como um componente espacial importante para a compreensão sobre possíveis fenômenos que arquitetaram o atual perímetro da bacia do córrego Sujo. Em uma análise associada ao arcabouço geológico, orientação de talwegues e a identificação de diferentes direções de segmentos da rede de drenagem, notadamente há indicadores que houve um condicionamento litoestrutural que organizou a rede de canais fluviais, condicionante este motivado pela zona de transição entre o Complexo Belo Horizonte e o Grupo Bambuí. Ao longo do curso fluvial do córrego Sujo foram identificados pontos de rupturas, isto é, *knickpoints*, sendo o segmento central de seu curso d'água o que revelou a maior amplitude de descontinuidade de seu leito. Tal descontinuidade ainda está associada a uma inflexão angular desse córrego que

drena em sentido S-N a partir de suas cabeceiras, muda para W-E e após essa descontinuidade se orienta em SW-NE para jusante.

Para que a análise da rede hidrográfica contribua para uma possível reconstituição geomorfológica, esta deve estar integrada ao comportamento morfológico topográfico e à distribuição de suas coberturas superficiais. Essa investigação integrada possibilitou indicar a zona central da bacia do córrego Sujo como um marco sobre a investigação da morfogênese de seu atual perímetro hidrográfico e suas formas de relevo modeladas, tendo o compartimento a montante apresentando particularidades diferentes do encontrado à jusante.

Nesse contexto, para que os materiais coluviais observados fossem transportados seria necessário um excedente na energia morfodinâmica, o que é possível próximo de uma cabeceira de drenagem associada a uma rede fluvial capaz de dissecar verticalmente a superfície de maneira incisiva e, por conseguinte, ampliar a amplitude topográfica de seus vales. Ao observar a atual posição espacial dessas coberturas coluviais, principalmente aquelas nas imediações do córrego Carrancas, notadamente as cabeceiras de drenagem de maior amplitude topográfica atualmente encontram-se a pelo menos 4 km a montante na bacia. Isto é, esses colúvios podem ser testemunhos de fenômenos que ocorreram em maior recuo temporal, cuja investigação aponta sobre a maneira como se estruturou o atual perímetro da bacia hidrográfica do córrego Sujo. À jusante desse trecho central da atual bacia, ainda há evidências de uma rede hidrográfica anteriormente consolidada que apresentou correspondência temporal aos fenômenos de movimentos gravitacionais de maior energia, cujos materiais finos e grossos, por sua vez, foram incorporados a uma dinâmica fluvial.

A princípio, é possível formular uma hipótese que possa sugerir que um córrego Sujo pretérito possuiu energia suficiente para dissecar a superfície associada a uma significativa competência de transporte de materiais. O ribeirão da Mata, este por onde as águas do córrego Sujo desaguam, mediante rebaixamento significativo e relativamente repentino em tempo geológico de seu nível de base, pode ter reverberado na capacidade de dissecação de seus afluentes, ainda que incipientes. Esses reflexos, por sua vez, interferiram diretamente na dinâmica de

suas cabeceiras de drenagem. Em associação a um arcabouço geológico que condiciona os caminhos preferenciais por onde a rede hidrográfica se instala, a incorporação de outras redes fluviais pelas cabeceiras desse córrego Sujo pretérito também pode ter potencializado a capacidade de dissecação da superfície de sua rede de afluentes, bem como mobilizar materiais de maior tamanho granulométrico. Nesse contexto essa reorganização hidrográfica pode explicar o porquê de inflexões bem marcadas no meio trecho do atual córrego Sujo associada a uma *knickzone* de significativa amplitude.

Para se alterar um nível de base de maneira repentina em tempo geológico em uma amplitude capaz de reverberar na distribuição de matéria e energia em um dado sistema geomorfológico, é necessário que haja, também, algum fenômeno ou um conjunto destes que favoreçam tal desmembramento. A bacia investigada atualmente drena sobre sequências de rochas sedimentares (Formação Sete Lagoas), ígneas e metamórficas (complexo cristalino de Belo Horizonte), na qual possuem estruturas herdadas de seu processo de formação durante o Pré-Cambriano segundo Pessoa (2005). Conforme Magalhães Jr e Saadi (1994), zonas de contato entre distintas unidades geológicas, como esta, são áreas que geralmente possuem maior sensibilidade crustal frente a perturbações de energia motivados pela deriva continental W-NE (HASUI, 1990) da Placa Sul-Americana onde está arquitetado o território brasileiro. Essa deriva, segundo Saadi (1990), resulta em Minas Gerais em um campo de tensões cuja tensão compressiva máxima ocorre em sentido SE-NW. Magalhães e Saadi (1994) investigaram a dinâmica neocenoica do rio das Velhas ao longo dessa zona de transição geológica e identificaram evidências por flexuras e falhamentos que indicam uma condição de relativo soerguimento crustal regional generalizado e, por conseguinte, a mobilidade dessas diferentes unidades geológicas pré-cambrianas. Essa mobilidade, por sua vez, também pode ser o resultado de esforços tectônicos independentes entre si (MAGALHÃES Jr. e SAADI, 1994).

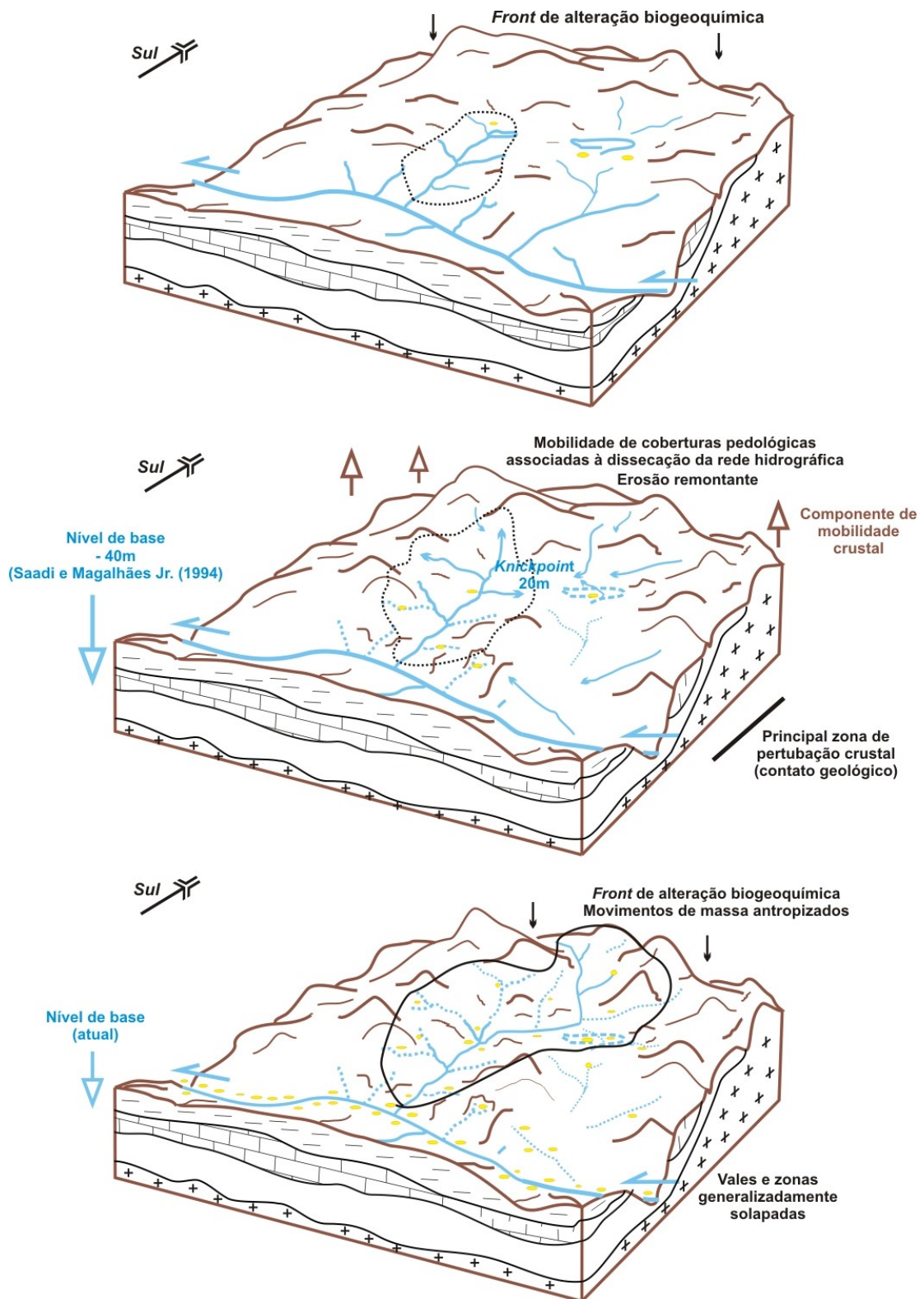
A zonalidade central da bacia investigada que corresponde a essa transição geológica revela alguns indicadores sobre esse componente crustal de mobilidade, sendo percebido por alterações do Membro Pedro Leopoldo com sinais de esforços de compressão SW-NE, por organizações anômalas de alterações geoquímicas nessas

alteritas, uma *knickzone* de 20 m de ruptura topográfica no córrego Sujo em que seu curso passa a drenar de W-E para SW-NE, além de coberturas colúvicas com concentrações de fragmentos de quartzo grossos posicionados tanto sobre alteritas do Membro Pedro Leopoldo quanto diretamente sobre granitos do complexo cristalino exumado. A atual organização topográfica da bacia investigada também pode ser um indicador sobre uma possível mobilidade crustal, visto que suas cabeceiras se situam em cota altimétrica de até 950 m associada a vales fortemente dissecados, ao passo que a zonalidade central da bacia já se encontra a cerca de 750 m, o que representa um desnível topográfico SW-NW de 200 m ao longo de 4 km. Esse desnível poderia estar associado à organização litoestrutural original das rochas, na qual por meio de uma dissecação diferencial entre rochas sedimentares e ígneas, a superfície sobre as sedimentares poderia ter sido mais intensivamente denudada. Todavia, dado o contexto observado em campo, quanto estudos pretéritos sobre essa área, conclui-se que houve algum componente de mobilidade crustal capaz de potencializar a maneira como a superfície foi esculpida ao longo do tempo.

Nesse contexto sobre a investigação das coberturas superficiais que integram a bacia hidrográfica do córrego Sujo, sua organização morfológica topográfica e sua rede de drenagem, foi elaborada uma representação esquemática de uma proposta de evolução geomorfológica para a área e suas imediações (Figura 64).



**Figura 64:** Modelo de evolução geomorfológica proposto sobre a morfogênese que edificou o atual perímetro da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas imediações.



Esse modelo busca uma simplificação de uma sucessão de fenômenos que ocorreram de maneira simultânea e/ou diacrônica na superfície cuja definição de cada etapa considera principalmente o que foi observado pelos componentes espaciais que integram a bacia do córrego Sujo. A partir dessa investigação, foi dado um posicionamento cronogeomorfológico relativo para possíveis testemunhos de fenômenos que tenham ocorrido.

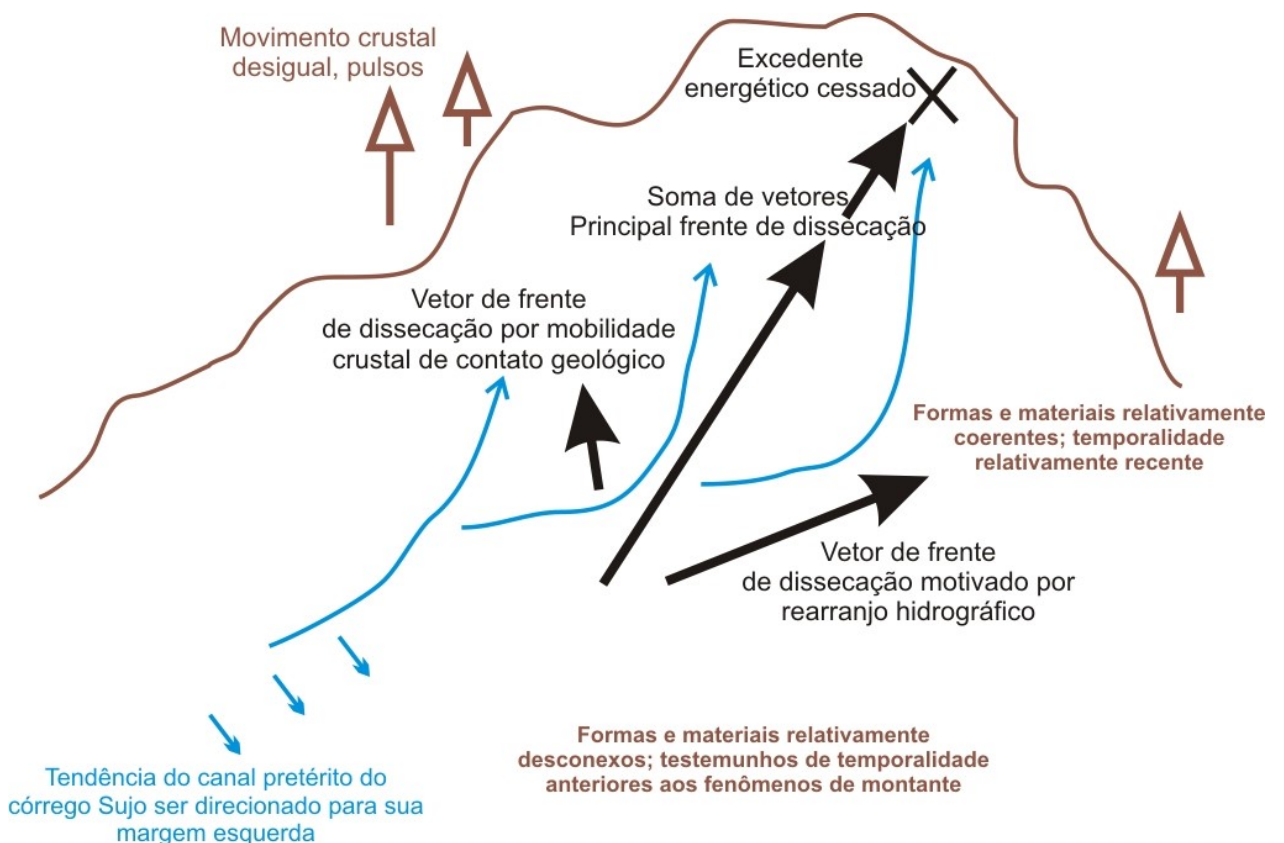
No Momento 1 entende-se que já havia um curso fluvial equivalente ao atual ribeirão da Mata nas quais alguns afluentes relativamente incipientes drenavam para seu leito. Afluentes estes que incluem um córrego Sujo de menor extensão que drena principalmente sobre as sequências da Formação Sete Lagoas. Ainda hoje nessa área há a presença de rochas calcárias de composição mais pura cuja interface entre suas coberturas superficiais e seu arcabouço litoestrutural revela significativas raízes de introdução, típicas de um criptocarste. A gênese dessas raízes, por sua vez, pode remontar a maiores recuos temporais em relação ao retratado no Momento 1.

O Momento 2, por sua vez, representa um fenômeno de alteração geral no balanço morfodinâmico da área, responsável por sua esculturação. Esta alteração pode estar motivada por um significativo rebaixamento de nível de base regional gerada a partir de movimentos crustais, cuja zona de transição entre diferentes litoestruturas foi mais perturbada, em razão de corresponder a um contato discordante entre seus materiais. À medida que a rede hidrográfica se reorganiza, esta também diseca a superfície de maneira mais incisiva o que favorece tanto o transporte sedimentar fluvial de maior capacidade, quanto a mobilização de materiais pela superfície dado o gradiente topográfico gerado de maneira relativamente acelerada. Por meio das atuais feições, em forma de paleovales, é possível ainda indicar duas principais forças de dissecação, sendo um vetor que tende para a margem direita do córrego Sujo, motivado por soerguimentos crustais, enquanto outro se direciona para a margem esquerda em razão da reorganização hidráulica da rede fluvial (Figura 65). Ainda nesse Momento 2, um arcabouço geológico, cuja interface a suas coberturas superficiais revelam testemunhos de raízes de introdução, que podem ter sido reativadas pontualmente mediante a incisão vertical de afluentes que deságuam no córrego Sujo.

O Momento 3, por fim, representa as condições dos dias atuais, tendo a rede hidrográfica apresentando indícios que não possui mais a capacidade e competência suficientes para dissecar a superfície, tendo sua condição geral revelando um solapamento geral de seus vales por materiais finos. Nas coberturas colúvias também são encontradas evidências de alteração geoquímica *in situ* posterior à sua deposição.

Nesse contexto, a Figura 65 representa a sistematização dos principais vetores de forças que atuaram na arquitetura do atual perímetro da bacia do córrego Sujo. As setas pretas representam a intensidade e direção da erosão remontante na formação das cabeceiras, erosão esta que representa um balanço entre forças endógenas/pulsos tectônicos e a própria reorganização da rede hidrográfica.

**Figura 65:** Modelo hipotético do balanço entre formas endógenas e reorganizações hidrográficas responsáveis por arquitetarem o atual perímetro da bacia hidrográfica do córrego Sujo.



### **3.4 Últimas considerações**

A análise geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego Sujo e suas adjacências envolveu a investigação de um complexo mosaico de materiais justapostos na superfície que resultam de múltiplos processos em variadas escalas espaço-temporais. Nessa investigação os trabalhos de campo foram essenciais para a apreensão sobre a organização espacial desses materiais na superfície, tais como coberturas pedológicas, alteritas e rochas. Desse modo, para o estabelecimento de cronologias relativas e a síntese de interpretação sobre possíveis fenômenos que podem ter arquitetado o atual perímetro da bacia hidrográfica investigada, foram observados principalmente os registros materiais, seus posicionamentos na superfície, suas condições de autoctonia e/ou aloctonia em relação ao substrato geológico subjacente, bem como os atuais fenômenos que esculturam a superfície associados à rede hidrográfica e a dinâmica de vertentes. Nessa bacia parte de seus materiais observados podem ser diferenciados em colúvios, elúvios e alúvios, nos quais sua organização na área sugere atribuir fenômenos ocorridos em uma escala temporal de longo-termo. Dentre esses materiais, notadamente, há consideráveis concentrações de fragmentos grossos de quartzo cuja maior recorrência ocorre na porção central da bacia. O arcabouço geológico também é um componente que fornece alguns indicadores sobre os fenômenos que edificaram o atual perímetro da bacia do córrego Sujo.

# ***CAPÍTULO 4***

## **ARTIGO / MÓDULO 2**

### **COBERTURAS SUPERFICIAIS: A COMPLEXIDADE NA INVESTIGAÇÃO DE UMA ÚNICA SEÇÃO LATERAL NA SUPERFÍCIE E SEUS DESDOBRAMENTOS GEOMORFOLÓGICOS**

## Capítulo 4 - Artigo 2

### COBERTURAS SUPERFICIAIS: A COMPLEXIDADE NA INVESTIGAÇÃO DE UMA ÚNICA SEÇÃO NA SUPERFÍCIE E SEUS DESDOBRAMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

#### Resumo

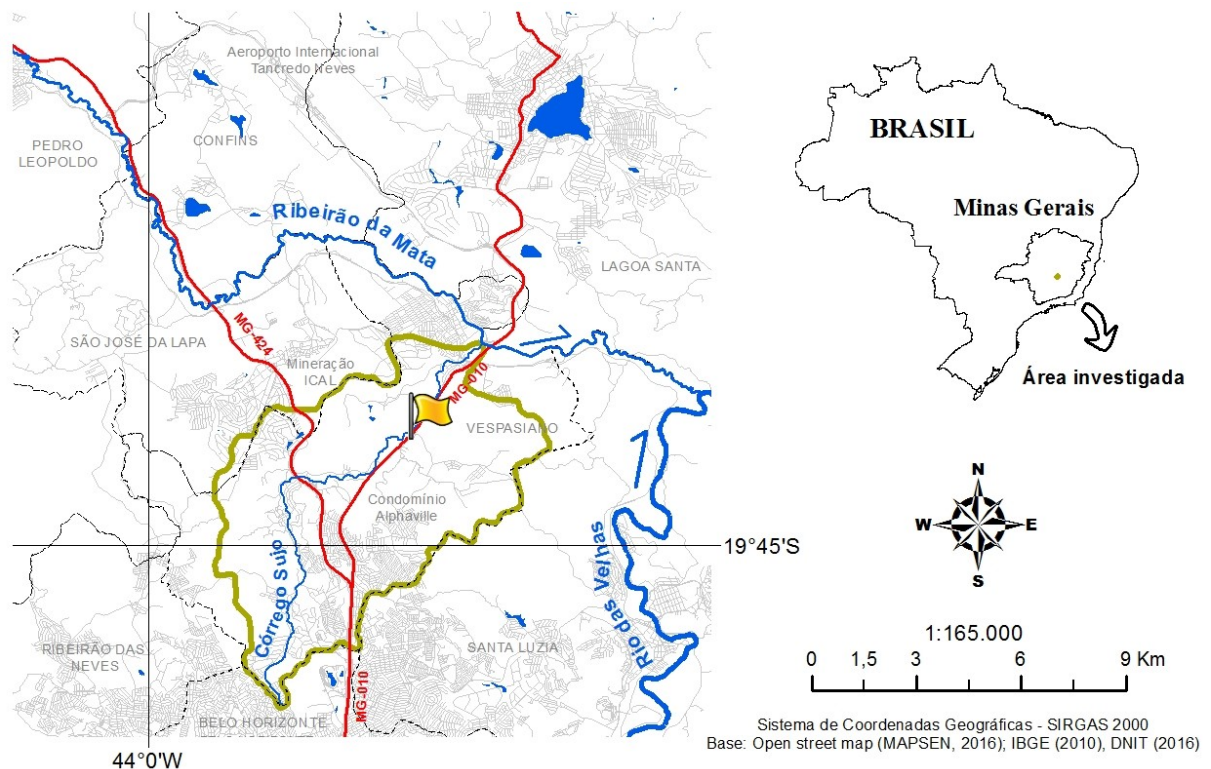
As coberturas inconsolidadas que integram e modelam as formas de relevo na superfície são materiais que podem fornecer subsídio para se compreender fenômenos de curto e longo-termo que edificaram a atual organização geomorfológica. Há uma variabilidade de procedimentos voltados para a análise dessas coberturas que, por sua vez, revelam aspectos nas mais variadas escalas de abordagem. Neste trabalho, mediante o recorte de taludes de espessos materiais inconsolidados, foi observada uma seção lateral que apresentou significativa concentração de fragmentos grossos de quartzo a cerca de 9 m de profundidade, sendo sua porção superior estruturada por argilominerais com estruturas pedológicas de seus constituintes. Essa seção está situada acerca de 15 km de Belo Horizonte, sobre os calcifilitos do Membro Pedro Leopoldo e adjacente ao córrego Sujo. Esta seção chamou a atenção pela maneira como esses cascalhos estão organizados lateralmente, que remetem a uma gênese alúvio-coluvial. Portanto, a espessa cobertura situada acima também presumiria uma filiação alóctone. Esta seção foi investigada por procedimentos que tangenciam abordagens pedológicas e alostratigráficas, bem como foram realizados trabalhos de campo sobre o contexto de inserção geomorfológica desses materiais. As interpretações sobre os dados laboratoriais corroboraram para a hipótese de uma filiação alóctone colúvio-aluvial dos materiais que integram a seção. Nesse aspecto, a partir da compreensão sobre seu contexto de inserção espacial, foi possível estruturar seis cenários geomorfológicos que sintetizam uma reconstituição paleoambiental dos fenômenos que podem ter edificado os materiais na seção investigada. Notadamente para esta reconstituição, quanto maior o recuo no tempo, menos testemunhos são observados sobre seu passado morfogenético. O testemunho de maior recuo temporal envolve a exumação de frondosas raízes do manto de alteração formadas em contexto de desenvolvimento de um carste ainda incipiente, posicionado atualmente nos interflúvios da bacia do córrego Sujo. Os cascalhos presentes na seção, por sua vez, possuem indicativos de serem herdados de diferentes temporalidades, sendo uma primeira envolvendo morfodinâmica coluvial de alta energia capaz de transportar materiais de até 30 cm de diâmetro seguido posteriormente por uma dinâmica fluvial que selecionou e depositou cascalhos por volta de 5 cm. Em sequência, esse mesmo ambiente esteve em condição de estagnação hidráulica que favoreceu o acúmulo de materiais finos provenientes das imediações. Atualmente essa seção encontra-se a cerca de 10 m acima do atual leito fluvial e completamente desconectada de uma hidrodinâmica, o que favoreceu alterações biogeoquímicas *in situ*, responsáveis por estruturar pedologicamente os colúvios finos depositados acima do nível dos cascalhos.

**Palavras-chave:** Geomorfologia; Cobertura pedológica; Morfogênese

## 4.1 Introdução

A investigação das coberturas inconsolidadas que integram a superfície terrestre geralmente demanda análises integradas entre campo e procedimentos laboratoriais, cujo sujeito investigador científico atribui significados mediante o que se observa em uma dada seção investigada e seu entorno. Este estudo pode ser concatenado pela análise de múltiplas variáveis, a depender da escala espacial que se aborda, bem como chegar a unidades elementares de agregados argilosos e sua estruturação física. Para esta parte da pesquisa sobre a bacia hidrográfica do córrego Sujo, investiga-se uma seção lateral às margens do córrego Sujo, no trecho entre a zona central da bacia e sua foz no ribeirão da Mata (Figura 66).

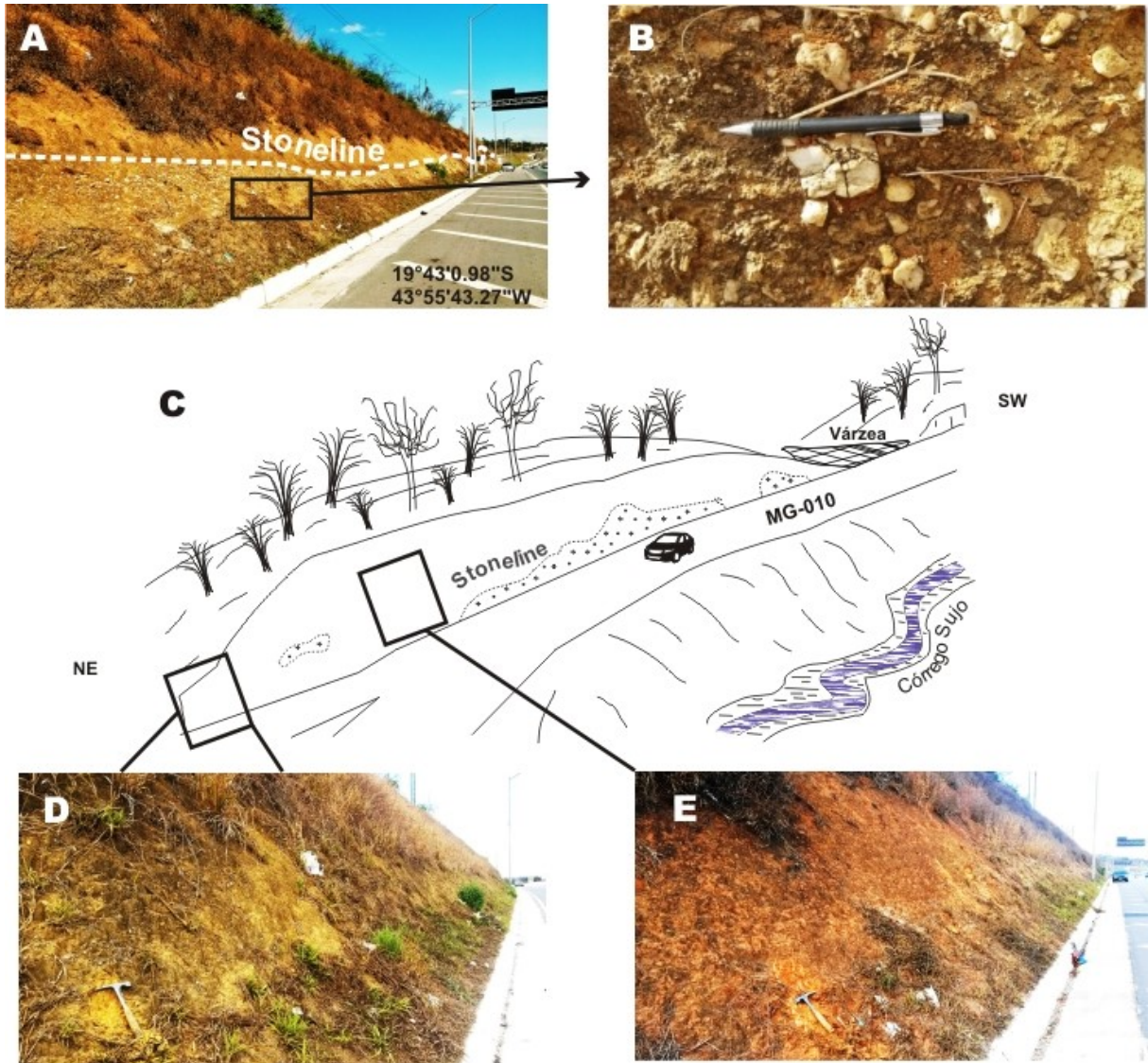
**Figura 66:** Localização da seção lateral investigada.



Essa seção lateral está exposta em um talude às margens da rodovia MG-010 no município de Vespasiano nas coordenadas  $19^{\circ}43'4.39''\text{S}$  e  $43^{\circ}55'45.34''\text{W}$  acerca de 15 km ao norte de Belo Horizonte. Possui 340m de comprimento, 11 m de altura e compreende uma considerável concentração de fragmentos grossos de quartzo organizados lateralmente, e de maneira subhorizontalizada, em torno de 8 m de profundidade. Tais quartzos geralmente são subarredondados e de predomínio

granulométrico entre 3 e 7 cm de diâmetro. Esses fragmentos grossos, por sua vez, estão inseridos em uma espessa cobertura de materiais finos pedologicamente alterados que, por sua vez, assumem cor principalmente alaranjada na porção superior, se tornando progressivamente amarelada em profundidade a partir da cascalheira (Figura 67).

**Figura 67:** Organização dos materiais que compõem a seção investigada.



A escolha dessa seção lateral envolve seu contexto geomorfológico de inserção, isto é, pode representar seixos de quartzo incorporados a uma dinâmica fluvial que, posteriormente, foram recoberto por materiais finos. Sua atual posição desconexa de uma rede hidrográfica, além da contribuição de uma alteração pedológica *in situ*, pode ser um indicador sobre a reconstituição ambiental do que



estruturou esses materiais na seção. Nesse contexto, a principal questão norteadora deste trabalho é compreender qual a gênese e evolução dos materiais que integram essa seção lateral.

O principal objetivo deste estudo envolve a investigação verticalizada sobre a organização estrutural e funcional desses materiais, com o auxílio laboratorial que permite observar variáveis sobre granulometria, pH, óxidos presentes, mineralogia e comportamentos físicos e geoquímicos de seus constituintes. Esse detalhamento verticaliza informações específicas para uma única seção lateral, cujo contexto geomorfológico envolve maior abrangência espacial e auxilia na conexão entre essa seção, as demais coberturas superficiais e a organização da rede hidrográfica do entorno. Nesse aspecto, este trabalho considera principalmente o 2º nível de tratamento de Ab'Saber (1969), que se faz necessário que se compreenda com maior detalhamento a estrutura e a funcionalidade de materiais que integram a superfície.

Para que se atinja o objetivo proposto, estipulam-se as seguintes metas: (i) mapeamento detalhado, 1:1.000, da seção lateral exposta na superfície; (ii) estabelecimento de comparações morfológicas, físicas, geoquímicas e mineralógicas entre os constituintes da seção e sua variabilidade lateral; (iii) identificação de aspectos físicos da superfície de grãos de quartzo em tamanho areia e se há relação entre suas características em relação aos fragmentos grossos de quartzos concentrados na seção; (iv) apresentar uma reconstituição paleoambiental como síntese dos componentes investigados.

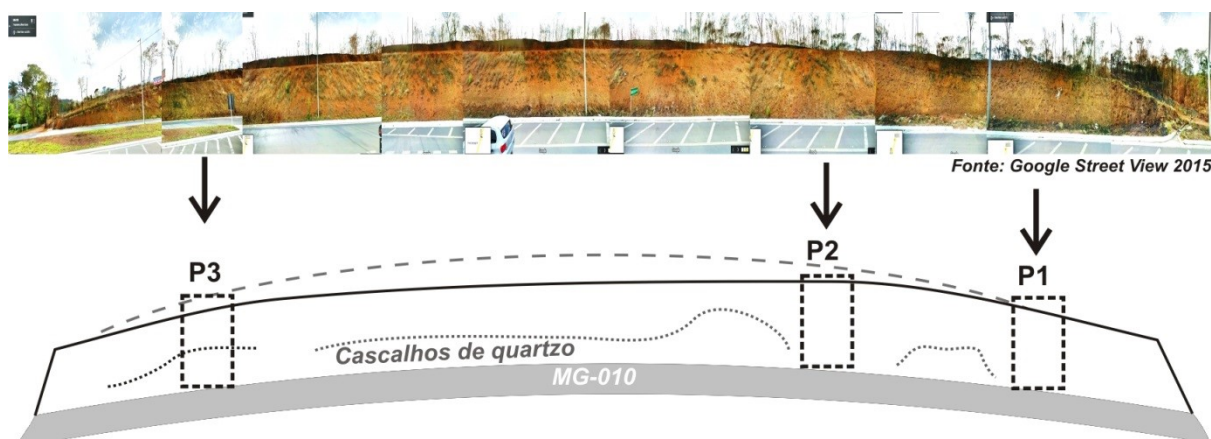
## **4.2 Materiais e métodos**

### ***4.2.1 Etapa de campo***

#### ***4.2.1.1 Organização estrutural da seção investigada***

Em campo foram mapeadas e caracterizadas as organizações morfológicas dos materiais que integram a seção investigada, por meio, sobretudo, da medição do tamanho dos cristais de quartzos em campo, profundidades de ocorrência dos materiais e suas variabilidades laterais (Figura 68).

**Figura 68:** Mosaico de imagens compiladas do *Google Street View* que compreendem a extensão do talude analisado e a representação das seções amostradas para descrição e análise.



A seção possui uma dimensão de cerca de 340m de comprimento por 11m de altura. Conforme a variabilidade lateral dos materiais argilo-siltosos em relação aos fragmentos grossos de quartzo, foram selecionados três (3) perfis verticais descritos conforme a metodologia de Santos et al. (2005). Esta metodologia permite caracterizar e atribuir significados aos componentes que integram as coberturas pedológicas e, ainda, atribuir possíveis significados sobre gênese e evolução mediante processos pedogenéticos. Dada a possibilidade desses materiais ainda serem de origem coluvial-aluvial, esses três perfis também foram descritos segundo a metodologia alostratigráfica de Miall (1996) (Tabela 1).

Segundo Fett Júnior (2011), a metodologia de classificação de fácies sedimentares de Miall (1996) envolve um conjunto de descrições macro e micromorfológicas, análises granulométricas e morfométricas para atribuir, por sua vez, interpretações sobre a origem de fácies e ambientes deposicionais. Para cada classe é atribuída um código identificador formado por duas letras, sendo a primeira letra relacionada ao tamanho dos grãos dominantes, isto é, Cascalho (*gravel*: G) Areia (*Sand*: S), Silte e argila (*Fines*: F). Enquanto a segunda letra está relacionada à textura/estrutura das fácies, sendo: laminação horizontal (h), material suportado por clastos (c), dentre outras. Miall (1996) citado por Fett Júnior (1996) ainda afirma que essas fácies podem ser geradas a partir de diferentes ambientes deposicionais, sendo necessário investigar como se associam as fácies nos perfis analisados. A

Tabela 1 é uma sistematização geral dos códigos e respectivas características atribuídas por Miall (1996).

**Tabela 1:** Classificação aloestratigráfica de de Miall (1996).

Código	Litofácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho suportado por matriz	Maciça ou gradação tênue	Fluxos de detritos plásticos (alta energia, viscosos)
Gmg	Cascalho suportado por matriz	Gradação inversa a normal	Fluxos de detritos pseudoplásticos (baixa energia, viscosos)
Gci	Cascalho suportado por clastos	Gradação inversa	Fluxos de detritos ricos em clastos (alta energia) ou fluxos de detritos pseudoplásticos (baixa energia)
Gcm	Cascalho suportado por clastos	Maciça	Fluxos de detritos pseudoplásticos (carga de fundo inerte, fluxo turbulento)
Gh	Cascalho suportado por clastos	Acamamento horizontal incipiente, imbricação	Barras longitudinais, depósitos residuais de canal, depósitos de peneiramento
Gt	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificação cruzada tabular	Barras transversais e linguiformes
St	Areia fina a muito grossa; pode conter seixos	Estratificação cruzada acanalada, isolada ou agrupada	Dunas subaquosas tridimensionais (cristas sinuosas e linguiformes)
Sp	Areia fina a muito grossa; pode conter seixos	Estratificação cruzada tabular, isolada ou agrupada	Dunas subaquosas bidimensionais (ondas de areia; cristas retilíneas)
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminação cruzada de ondulação	Micro-ondulações (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa; pode conter seixos	Laminação horizontal, lineação de partição ou de corrente	Leito plano (regimes de fluxo inferior e superior)
Sl	Areia muito fina a grossa; pode conter seixos	Estratificação cruzada de ângulo baixo (< 15°)	Preenchimento de sulcos, antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa; pode conter seixos	Sulcos largos e rasos	Preenchimento de sulcos
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação tênue	Depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos
F1	Areia muito fina, silte, argila	Laminação fina, micro-ondulações muito pequenas	Depósitos de planícies de inundação, canais abandonados ou terminação de cheias
Fsm	Silte, argila	Laminação fina ou maciça	Depósitos de bacias de inundação ou canais abandonados
Fm	Argila, silte	Maciça, com gretas de ressecamento	Depósitos de planícies de inundação ou canais abandonados
Fr	Argila, silte	Maciça, com raízes e bioturbação	Solo com desenvolvimento incipiente

Fonte: Adaptado de Fett Júnior (2011).

A partir da definição das seções verticais definidas para o talude para maiores detalhamentos quanto às análises em gabinete e laboratório, foram levadas, ao todo, 11 amostras deformadas para análises laboratoriais, bem como alguns cascalhos de quartzo que apresentassem óxidos precipitados escurecidos em sua matriz para composição mineralógica.

#### 4.2.2 Análises físicas (Laboratório)

##### 4.2.2.1 Granulometria e razão silte/argila

As amostras coletadas em campo, ao total de onze (11), foram levadas ao Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFMG para quantificação de fragmentos nas frações argila (< 0,002mm), silte (0,002 - 0,05mm), areia fina (0,05 - 0,21mm) e areia grossa (0,21 - 2,0mm) de acordo com a metodologia utilizada pela Embrapa/Donagema et al. (2011). Segundo Donagema et al. (2011) para se utilizar essa metodologia as amostras de solo devem atender aos pré-requisitos apresentados na Tabela 2. Conforme pré-testes de pH e revisões de literatura sobre solos da região cárstica de Lagoa Santa sobre sua condutividade elétrica, argila dispersa em água e densidade de partículas, as amostras atendem às características físico-químicas de enquadramento para uso do procedimento.

**Tabela 2:** Enquadramentos físico-químicos dos solos como pré-requisitos para utilização da metodologia da pipeta.

Atributo	Valor mínimo	Valor máximo
pH em água	4,00	7,00
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,00	4,00
Densidade de partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	2,55	2,75
Teste de dispersão rápida	Suspensão ligeiramente turva (baixo teor de argila dispersa em água)	Suspensão turva (elevado teor de argila dispersa em água)

**Fonte:** Adaptado de Donagema et al. (2011).

As etapas de análise granulométrica consistem no destorroamento manual das amostras secas ao ar e posterior peneiramento de frações inferiores a areia (<

2,0 mm) para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 69A). Para separação das frações é utilizado a metodologia da pipeta, isto é, são pesados 20,000 g de amostra de TFSA em frasco polietileno e adicionados uma solução que contém  $25 \text{ molL}^{-1}$  de hidróxido de sódio (NaOH) e 100 mL de água deionizada (Figura 69B). O preparado é então levado para o Agitador Tipo Wagner a 50 rpm por 16 horas ininterruptas. O objetivo desta etapa é dispersar até os menores agregados (Figura 69C). Decorridos o tempo a amostra é colocada em uma peneira de malha 0,053 mm e apoiada sobre um funil de suporte sob um cilindro de sedimentação (proveta) de 1000 mL (Figura 69D). A amostra, desse modo, é lavada com água deionizada até que restem apenas os fragmentos retidos na peneira e o restante da solução retida na proveta. Os fragmentos retidos na peneira correspondem às frações areia, e são transferidas para uma lata de alumínio para posterior pesagem (Figura 69E). O restante da solução na proveta contém argila e silte e é colocada em um agitador magnético para serem pipetados 50 ml a 5 cm de profundidade, para quantificação final dos teores de silte. Para os valores de argila, por sua vez, interrompe-se a agitação e deixa a solução em repouso por tempo determinado de acordo com a temperatura da amostra. Após o tempo de decantação dos sedimentos, novamente são pipetados 50 ml a 5 cm de profundidade.

As latas de alumínio contendo a fração areia, bem como as capsulas argila + silte e apenas argila são levadas à estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Assim, os valores absolutos são pesados em balança analítica de precisão 0,001g (Figura 69F). Para quantificação da areia fina e grossa pesa-se a lata com o total de areia, depois é peneirada e pesada a areia fina, e por diferença, tem-se o valor da areia grossa. A quantificação do silte é semelhante à areia, isto é, pela diferença entre o peso da cápsula de argila e da contendo argila + silte.

**Figura 69:** Procedimentos de análise granulométrica por meio da metodologia da pipeta.



Com os valores gerados pela metodologia da pipeta, então realiza-se a razão entre silte e argila para determinar o grau de intemperismo do solo (DONAGEM et al., 2011), embora Shinzato (1998) diga que essa regra não é aplicável em solos oriundos de áreas carbonáticas. Essa relação também pode indicar se há movimentação de argila no perfil (DONAGEMA, 2011). Seus resultados foram organizados por Excel (2010) e plotados em diagrama triangular pelo programa Triplot.

#### **4.2.2.2 Morfoscopia da fração areia fina e grossa**

Os procedimentos de morfoscopia consistem em verificar o grau de arredondamento, circularidade, alongamento e textura dos grãos na fração granulométrica de areia. O conceito de arredondamento está associado ao grau de maturidade dos grãos, em que pode indicar, por exemplo, o tempo que dada partícula se encontra ativa no ciclo sedimentar, intensidade de transporte e distância de área fonte da matriz litológica (SEGUIO, 1973, DIAS, 2004). Seguio (1973) indica que quanto maior o arredondamento, maior sua participação no ciclo. Porém, há

outros fatores que podem influenciar na forma dos grãos como, por exemplo, a forma original dos minerais presentes nas rochas, sua clivagem, processos químicos in situ, dentre outros. Conforme Dias (2004) há diversos índices que visam calcular as medidas de arredondamento, sendo o principal o Índice de Rolamento de Wentworth ( $r1/R$ ) que calcula o raio da curvatura pelo valor médio dos raios de curvatura de todas as arestas. Para este trabalho foi utilizado o cálculo proposto por Cox (1927), citado por Ribeiro e Bonetti (2013), que atribui a área em função de seu perímetro ( $4\pi A/p^2$ ).

Circularidade é um conceito às vezes apresentado como sinônimo de esfericidade, porém, para o cálculo de esfericidade seria necessário sua análise de forma tridimensional sendo a maioria dos índices calculados de maneira bidimensional (RIBEIRO e BONETTI, 2013). Circularidade se refere à relação entre seu eixo principal e seu eixo menor, na qual quanto mais próximos os valores, mais circular é a partícula (BLOTT e PYE, 2008). Conforme Blott e Pye (2008), Pentland (1927) desenvolveu uma fórmula que compara a área da partícula em função de seu eixo menor ( $4^a/\pi(L)^2$ ) que, apesar do autor ter utilizado o termo “angularidade” e sinônimo de “arredondamento”, o cálculo é mais adequado a circularidade. O Índice de Alongamento, por sua vez, é um cálculo utilizado por Ribeiro e Bonetti (2013) que revela o quanto é alongada uma partícula.

Conforme Dias (2004), a textura também é um conceito que envolve variadas sistematizações, sendo a principal desenvolvida por Cailleaux e Tricart (1963). Estes organizaram os grãos em três principais categorias: (i) NU (*Non-Usées*) anguloso, (ii) EL (*Émoussés-Luisants*) boleado brilhante e (iii) RM (*Rond-Mats*) arredondado baço (DIAS, 2004). Para este trabalho foi utilizada a classificação de Bigarella et al. (1955), citado por Bertolini et al. (2016), na qual suas terminologias são lisa, mamelonar ou sacaroide que, por sua vez, ainda classifica conforme seu brilho em polido ou fosco. As partículas lisas correspondem a grãos de superfície regular, sacaroides são grãos irregulares, ásperos, de arestas agudas, ao passo que o mamelonar é um meio termo entre liso e sacaroide. Para Bigarella et al. (1955) citado por Bertolini et al. (2016), a textura é um indicativo do tempo e meio de transporte que a partícula tenha passado, todavia, os vestígios primitivos podem ter sido

progressivamente apagados, bem como oxidações na superfície dos grãos pode interferir em sua morfologia.

Mediante os conceitos apresentados, em campo foram separados os horizontes pedológicos e coletada duas amostras de horizonte A, duas de B e duas no horizonte C na porção aloterítica, ou seja, na porção superior do manto de rocha alterada onde as estruturas originais da rocha não se encontram mais preservadas, bem como duas amostras da faixa de stoneline. Ao total foram levadas oito amostras ao Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

No Laboratório as amostras foram secas ao ar e realizadas as seguintes etapas conforme descritas no item 4.2.2.1 de granulometria: (i) destorroamento manual, (ii) peneiramento para obter frações inferiores a areia ( $< 2,0$  mm) de terra fina seca ao ar (TFSA); (iii) dispersão de partículas por meio do método da pipeta, isto é, são pesados 20,000 g de TFSA em frasco polietileno e adicionados  $25 \text{ molL}^{-1}$  de solução de hidróxido de sódio (NaOH), somada a 100ml de água deionizada, posteriormente levado ao agitador do tipo Wagner a 50 rpm por 16 horas ininterruptas para dispersar as partículas menores e permanecer em repouso. Após passar o tempo necessário, a mistura é colocada em uma peneira de malha 0,053mm e lavada até que retenha apenas as frações areia. Posteriormente essa areia é levada para a estufa para (iv) retirada da água que restou durante a lavagem e (v) separada em peneira a fração fina (0,05 – 0,21mm) e areia grossa areia grossa (0,21 - 2,0mm).

Com as amostras individualizadas de areia fina e grossa, estas foram separadas em cem grãos por horizonte amostrado em campo, totalizando 800 grãos de cada tamanho, ou, ao todo, 1600. Com o auxílio de lupa trinocular com luz refletida, aumento de 40x e registro fotográfico, foram classificados conforme arredondamento de Cox (1927), circularidade de Pentland (1927), índice de alongamento de Ribeiro e Bonetti (2013) e textura de Bigarella et al. (1955) (Figura 70C). No Programa *ImageJ*, por sua vez, foram gerados os valores para Arredondamento (*Circularity* pelo *ImageJ*), Circularidade (*Round* pelo programa) e Índice de Alongamento (*Aspect Ratio*), ao passo que a textura foi determinada





estatisticamente no programa Excel (2010) e confeccionados boxplots para os valores gerados pelo *ImageJ* e gráfico de colunas para distribuição textural. Posteriormente os dados de fotografias geradas pela Lupa trinocular, a estatística e a distribuição de frequência de grãos foram organizados no programa CorelDRAW X3.

#### **4.2.2.3 Mineralogia por difração de raio-X**

A análise da composição mineral dos horizontes coletados foi realizada pelo Laboratório de Difração e Fluorescência de Raio-X pertencente ao Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) no Instituto de Geociências da UFMG. Sua execução foi realizada pela metodologia do pó em amostras de TFSA de horizontes A, B e C e, separadamente, em areia fina do horizonte C do Perfil 3. A leitura do raio-x foi realizada por difratômetro modelo X'Pert PRO MRD HR X-RAY Diffraction System.

#### **4.2.3 Análises químicas (Laboratório)**

##### **4.2.3.1 pH e $\Delta$ pH**

Para determinação do balanço entre íons de hidrogênio  $H^+$  e hidroxila ( $OH^-$ ), do solo, isto é, acidez ou alcalinidade, foi utilizada a escala de pH (BRADY e WEIL, 2013). Esta representa o logaritmo negativo da atividade do íon hidrônio ( $H_3O^+$ ). No Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia (IGC/UFMG), foram separados 20  $cm^3$  de TFSA, sendo distribuídos 10  $cm^3$  em dois frascos. Em um foi adicionado 25 mL de água destilada ( $H_2O$ ) e noutro 25 mL de solução 1 molar de cloreto de potássio (KCL). Ambas foram deixadas em repouso por uma (1) hora e agitadas com um bastão para leitura em pHmetro eletrônico calibrado (Figura 71).

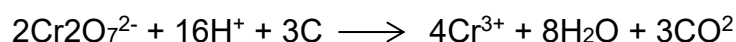
**Figura 71:** Leitura de amostras em pHmetro calibrado.



Para determinação do  $\Delta\text{pH}$ , por sua vez, foi realizada a diferença aritmética dos valores do pH em KCL e em água ( $\Delta\text{pH} = \text{pHKCL} - \text{pHH}_2\text{O}$ ). O valor de  $\Delta\text{pH}$  negativo é indicador do predomínio de argilas silicatadas, ao passo que  $\Delta\text{pH}$  positivo indica predomínio de óxidos de ferro e alumínio, ou seja, o  $\Delta\text{pH}$  poderia indicar o grau de intemperismo do solo.

#### 4.2.3.2 Carbono orgânico

No Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia (IGC/UFMG), as onze (11) amostras deformadas coletadas em campo passaram pela metodologia da determinação de carbono por meio de redução por um agente oxidante forte. Conforme Donagema et al. (2011), esse procedimento consiste na reação de oxidação da matéria orgânica com solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico, na qual utiliza como catalizador da oxirredução o calor despreendido na diluição do ácido sulfúrico, sendo o excesso de dicromato, após a oxidação, titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). A reação química envolvida é apresentada a seguir:



As etapas consistem na pesagem de 0,5g de TFSA em frasco Erlenmeyer de 250 mL, adicionados 10 mL pipetados de solução de dicromato de potássio 0,0667 molar e aquecida a solução em fervura branda por 5 minutos. Após esfriar são adicionados 80 mL de água destilada, 2 mL de ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e 2 gotas de difenilamina (indicador). Com a solução preparada, realiza-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  até que o preparado passe de uma cor que varia progressivamente de amarelo, verde escuro, azul turquesa e atinja uma coloração verde esmeralda clara (Figura 72). Esta última indica o consumo total do carbono orgânico dissolvido na solução.

**Figura 72:** Etapas de mensuração de carbono orgânico.



Essa metodologia, em síntese, significa que a matéria orgânica é parcialmente consumida na solução adicionada em um primeiro momento, sendo o objetivo do procedimento o de saturar com um agente e verificar o quanto foi necessário para o consumo total. Caso a quantidade de matéria orgânica seja maior que 2% de carbono, ou seja, haja a saturação antes de realizar a titulação, é necessário repetir o procedimento e pipetar quantidades crescentes de dicromato de potássio (20 mL, 30 mL, 40 mL ou 50 mL) até que a coloração da solução permaneça amarela como em Figura 1A. Posteriormente levar à fervura e diluir a solução 1:5, ou seja, para volumes de 100, 150, 200 e 250 mL, respectivamente.

Com os valores de sulfato ferroso amoniacal gastos na titulação, é realizada a seguinte equação para determinação da quantidade de matéria orgânica:

$$[C \text{ (g/kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6] \times 1,724$$

Onde  $f = (40 - \text{volume de sulfato ferroso gasto na prova em branco}^*)$  e 1,724 uma constante de multiplicação em virtude de ser admitido que na composição média do húmus o carbono participa em 58%. Essa fórmula refere-se à proporção de 10 mL adicionados, e caso haja necessidade de maiores adições também multiplica-se o resultado final proporcionalmente à quantidade aumentada de solução.

#### **4.2.3.3 Ataque sulfúrico (sílica, ferro, titânio e manganês)**

Foram feitas as leituras no Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia da UFMG das quantidades de ferro, titânio, sílica e manganês das amostras coletadas. Para o preparo do extrato seguiu-se a metodologia da Donagema et al. (2011) em que foi pesados 1g de TFSA em Erlenmeyer de 500 ml, adicionados 20 ml de ácido sulfúrico e deixado em fervura por 30 minutos. Após resfriar, foram adicionados 50 ml de água ultrapurificada e filtrado para balão de 250 ml. O extrato filtrado, por sua vez, foi utilizado para fazer a determinação de ferro, titânio e manganês, ao passo que o resíduo foi destinado para a determinação de sílica. Para cada leitura foram preparados diferentes reagentes, cuja cor foi lida em espectrofotômetro em diferentes faixas para cada determinação (Figura 73).

**Figura 73:** Etapas de extração do extrato e leitura dos elementos.



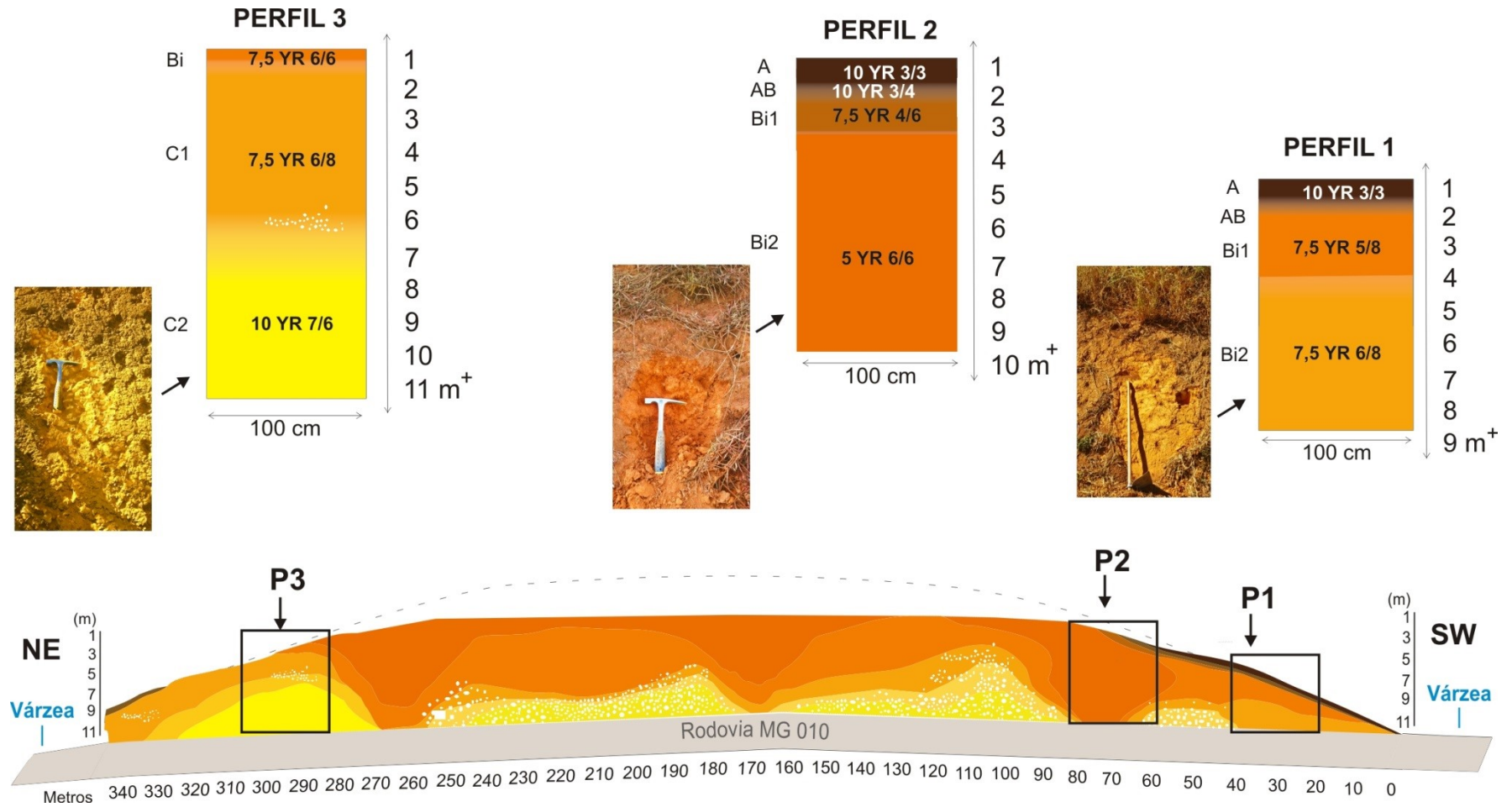
### **4.3 Resultados e discussão: organização morfológica dos materiais inconsolidados**

#### **4.3.1 Variabilidade lateral dos constituintes**

Os materiais que integram o talude investigado de 340m de extensão lateral e 11 m de altura às margens da rodovia MG-010 configuram um mosaico que envolve desde componentes argilosos até cascalhos grossos de quartzo. Em uma perspectiva bidimensional, esses materiais estão organizados de maneira relativamente semelhante à relação dicotômica existente nas coberturas pedológicas do carste de Lagoa Santa apresentados por Kohler (1989) e Piló (1998), isto é, possui a porção superior dos materiais assumindo cores laranja-avermelhadas, ao passo que em profundidade se torna amarelada. Para além da diferenciação de cor, a organização macroestrutural dos constituintes pedológicos também se diferencia pela porção superior geralmente apresentando maiores indicadores de pedoturbação como, por exemplo, agregação e estruturação em blocos, enquanto em profundidade possui baixa porosidade e permeabilidade (PILÓ, 1998; HOFFMAN, 2014).

Para os materiais investigados, essa diferenciação vertical ocorre, *a priori*, de maneira subhorizontalizada em relação à superfície topográfica, além de uma significativa concentração de fragmentos grossos de quartzo em sua transição (Figura 73). Os materiais abaixo dos cascalhos de quartzo possuem cores completamente amarelas de 10YR 7/6 (amostra seca), enquanto acima dessa unidade há a variação de amarelo-avermelhado entre 7,5YR 6/8 e 5YR 6/6 (amostras secas). Por meio da metodologia de *coleta e descrição de solos* de Santos et al. (2005), em campo os materiais finos apresentam, de maneira geral, estrutura de grau moderada a forte, tamanho grande e blocos subangulares, além de consistência seca muito dura, úmida se torna friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, além de forte coesão, o que esse conjunto sugere uma contribuição pedogênica *in situ*. O horizonte A superficial também possui cor bruno escuro (10YR 3/3), estrutura de grau fraco, tamanho pequeno e blocos subangulares, além de consistência seca muito dura, úmida é friável, não plástica e ligeiramente pegajosa. Este horizonte A superficial encontra-se descontínuo em virtude deste ter sido decapitado por corte mecanizado do talude na faixa entre 300 m e 80 m, sendo ainda preservados parte de seus constituintes nas extremidades da seção (Figura 74).

Figura 74: Organização pedológica dos materiais inconsolidados na seção investigada.



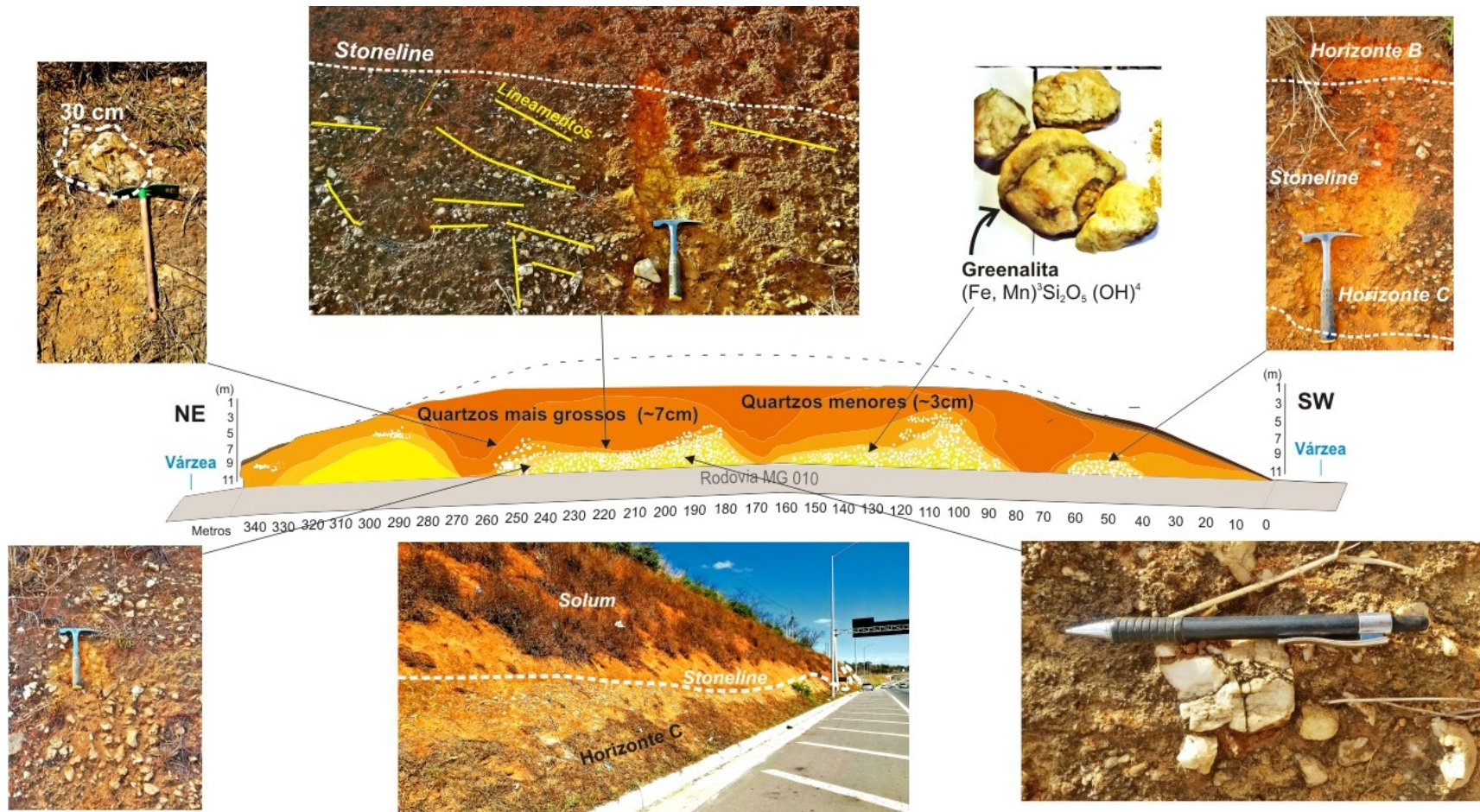
Os fragmentos de quartzo, por sua vez, têm sua organização estruturada de maneira relativamente paralela à superfície topográfica e geralmente acompanham o topo superior da porção amarelada dos materiais (Figura 75). Esses quartzos também são bastante concentrados e variam horizontalmente, isto é, ora esses materiais estão mais próximos da superfície (~2 m de profundidade), ora estão presentes a profundidades superiores a 9m, sendo contínuos lateralmente por volta de 190m de extensão lateral. A NE da seção, os fragmentos aparecem de maneira local e linear, enquanto a SW possuem breve descontinuidade lateral cujos fragmentos situam-se em maior profundidade (Figura 75).

Em alguns trechos onde os quartzos estão mais concentrados e em maior profundidade, por exemplo, entre 260 m a 180 m (Figura 75), é possível observar seguimentos retilíneos diagonais e horizontais, o que pode indicar aspectos de deposição. Esses quartzos ainda têm seus cristais bastante fraturados, sua superfície com arestas subarredondadas, além de serem bastante resistentes à quebra, necessitando martelo. Nessa seção há o predomínio de quartzos leitosos e brancos, por vezes, fortemente fraturados, bem como ainda encontram-se quartzos que possuem estrias em suas bordas características de sua cristalização e posterior metamorfismo local. Esses tipos de quartzos são encontrados em veios de quartzo do Membro Pedro Leopoldo e do complexo cristalino a montante na bacia. Em alguns fragmentos também são encontradas “manchas” esverdeadas, estas provavelmente oriundas de interferências bioquímicas.

Além das características como resistência, morfologia e descontinuidades no interior dos cristais, os quartzos ainda são relativamente selecionados, ou seja, há o predomínio de fragmentos por volta de 5 cm de diâmetro arestas subarredondadas. O tamanho dos fragmentos também varia lateralmente, sendo que partículas menores entre 2 cm a 3 cm ocorrem principalmente à direita da seção (Figura 75). É nesse trecho também que os quartzos se organizam de maneira menos concentrada e em proximidade com a superfície, ao passo que quanto mais à esquerda da seção lateral (Figura 75), maiores se tornam os fragmentos, atingindo valores por volta de 7 cm a 10 cm e pontualmente até 30 cm de diâmetro

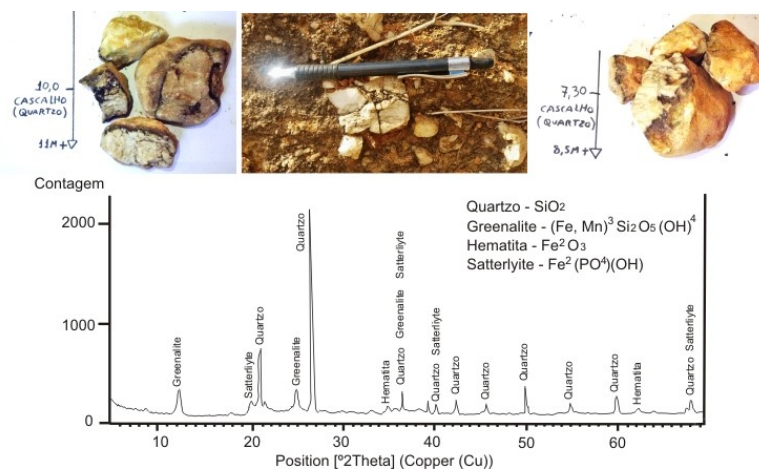


Figura 75: Organização morfológica dos fragmentos de quartzo e sua distribuição lateral.



Outro aspecto encontrado de maneira recorrente nos quartzos se refere a um acúmulo de material escuro raspável com lâmina que circunda as bordas dos fragmentos ou mesmo preenche fraturas internas nos cristais dos quartzos (Figura 76). Por análise no difratômetro de raio-X, este revela que esse material escurecido corresponde a *greenalite* (greenalita) cuja fórmula química é  $(\text{Fe}^{2+}; \text{Fe}^{3+})_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})^4$ , sendo Fe trocável com Mn. Segundo Junqueira (1997) a greenalita corresponde a um tipo de silicatado de ferro formado por precipitação química. Para além da greenalita também foi encontrado o fosfato ferroso satterlyita.

**Figura 76:** Precipitados de óxidos de manganês e ferro encontrados nos quartzos.



A cristalização desses óxidos necessita de ambiente geoquímico específico, a qual envolve a mistura de águas calmas com diferentes composições orgânicas, além de relativa estabilidade por um tempo suficiente para que os íons sejam migrados em solução e precipitados a partir de um núcleo maior, no caso os quartzos, ao contato a um ambiente oxidante.

### 2.3.2 Seções verticais analisadas

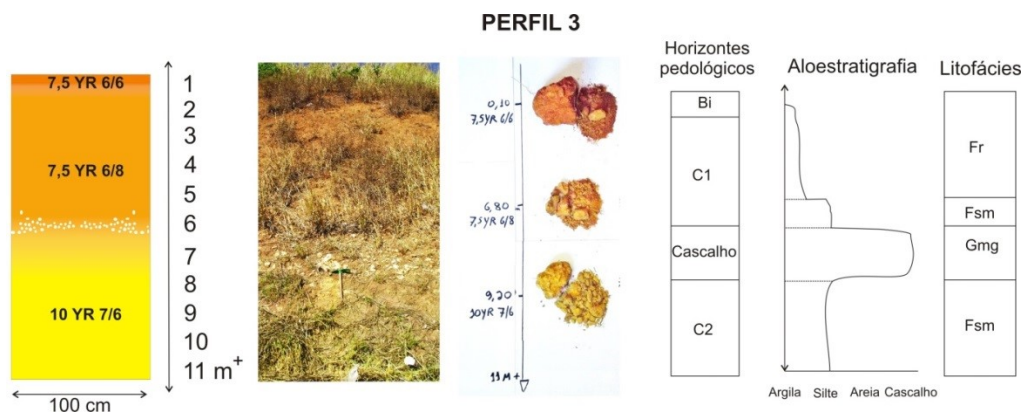
Tratar sobre a análise das coberturas que modelam a superfície envolve a investigação horizontal de seus componentes inconsolidados, sendo o recorte vertical como recurso para o detalhamento macro e micromorfológico de seus materiais. Esse detalhamento, por sua vez, pode auxiliar na compreensão sobre a autoctonia ou aloctonia sobre a gênese e evolução desses materiais. A depender da história desses materiais, isto é, se possuem filiação *in situ* ou por transporte, os procedimentos metodológicos também variam. Para este trabalho os três perfis ao

longo do talude investigado foram descritos conforme os procedimentos de campo de Santos et al. (2005), pela classificação de solos de Santos et al. (2013) e pelos da aloestratigrafia segundo fácies de Miall (1996). Notadamente pela abordagem pedológica, a organização em horizontes presume filiação genética, todavia, materiais transportados também podem ter passado por processos de pedogênese.

Nesse aspecto, a partir da perspectiva pedológica baseada em Santos et al. (2005) e Santos et al. (2013) o perfil 3 possui cerca de 11 m de altura e revela três diferenciações de horizontes, sendo B incipiente (Bi), C1 e C2 (Figura 77). O primeiro, Bi, encontra-se até 40 cm de profundidade em relação à atual superfície topográfica que, neste trecho, foi decapeada em cerca de 1 m. Esse horizonte Bi possui cor de amostra seca 7,5YR 6/6 (amarelo-avermelhado) e úmida 7,5YR 5/6 (bruno-forte), textura franco-argiloarenosa, e estruturas de pedogênese tais como estruturas do tipo blocos subangulares com grau moderado, forte coesão, amostra ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e de boa drenagem (Tabela 3).

Por meio de transição difusa, o Bi passa para C1 entre 40 cm a 6 m de profundidade. O horizonte C pode ser caracterizado como aloterita visto que esta não resguarda organizações litoestruturais originais. A cor deste horizonte revela um progressivo amarelamento em relação a Bi, sendo 7,5YR 6/8 (amarelo-avermelhado) de amostra seca e 7,5YR 6/6 (amarelo-avermelhado) de amostra úmida (Figura 77). Possui textura franco-argiloarenosa, consistência seca muito dura e úmida ligeiramente friável, bem como forte coesão, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa (Tabela 3).

**Figura 77:** Perfil 3 que representa a diferenciação entre a porção superior e inferior em relação à cascalheira de quartzos.



**Tabela 3:** Descrições morfológicas realizadas em campo para a seção lateral investigada.

Perfis		Código Munsell (cor) <sup>(1)</sup>						Estrutura <sup>(2)</sup>			Consistência <sup>(3)</sup>						
P.	Horiz.	Prof.(cm)	Transição	Seca	Matiz	Úmida	Matiz	Classe textural	Grau	Tamanho	Tipo	Seca	Úmida	Plast.	Pegaj.	Ceros.	Coesão
<b>PERFIL 1</b>																	
<b>1</b>	A	0 - 50	Difusa	10YR - 3/3	Br. esc.	10YR - 2/2	Br.mto esc.	Franco - arenosa	Fraca	Pequena	bl. subang.	Mto dura	Friável	Não plást.	Lig. pegaj.	-	Mod. coe.
	AB	50 - 150	Difusa	10YR - 3/3	Br. esc.	10YR - 3/3	Br. esc.	Franco - arenosa	Fraca	Pequena	bl. subang.	Mto dura	Friável	Não plást.	Lig. pegaj.	-	Mod. coe.
	Bi1	150 - 370	Difusa	7,5YR - 5/8	Br. forte	7,5YR - 4/4	Bruno	Franco - argiloarenosa	Forte	Grande	bl. subang.	Mto dura	Mto firme	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
	Bi2	370 - 800+	Difusa	7,5YR - 6/8	Am. averm.	7,5YR - 4/4	Bruno	Franco - argiloarenosa	Forte	Grande	bl. subang.	Mto dura	Friável	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
<b>PERFIL 2</b>																	
<b>2</b>	A	0 - 40	Difusa	10YR - 3/3	Br.esc.	10YR - 2/2	Br. mto esc.	Franco - arenosa	Fraca	Pequena	bl. subang.	Dura	Friável	Não plást.	Lig. pegaj.	-	Mod. coe.
	AB	40 - 140	Difusa	10YR - 3/4	Br.am.esc.	10YR - 3/3	Br. esc.	Franco - arenosa	Moderada	Grande	bl. subang.	Dura	Friável	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Mod. coe.
	Bi1	140 - 270	Difusa	7,5YR - 4/6	Br. forte	7,5YR - 4/3	Bruno	Franco - arenosa	Moderada	Grande	bl. subang.	Mto dura	Friável	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
	Bi2	270 - 900+	Difusa	5YR - 6/6	Am. averm.	5YR - 5/6	Verm. amare.	Franco - argiloarenosa	Forte	Grande	bl. subang.	Mto dura	Firme	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
<b>PERFIL 3</b>																	
<b>3</b>	Bi	0 - 40	Difusa	7,5YR - 6/6	Am. averm.	7,5YR - 5/6	Br. forte	Franco - argiloarenosa	Moderada	Média	bl. subang.	Ext. dura	Mto firme	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
	C1	40 - 680	Difusa	7,5YR - 6/8	Am. averm.	7,5YR - 6/6	Am. Averm.	Franco - argiloarenosa	Moderada	Média	bl. subang.	Mto dura	Friável	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.
	C2	680 - 1100+	Difusa	10YR - 7/6	Amarelo	10YR - 6/6	Am. br.	Franco - argiloarenosa	Moderada	Média	bl. subang.	Dura	Friável	Lig. plást.	Lig. pegaj.	-	Fort. coe.

Horiz.-**Horizonte**; Prof.-**Profundidade**; (1) **Código Munsell** (Br. esc.-Bruno escuro, Br. Forte, Am. averm.-Amarelo-avermelhado, Br-am.esc.-Bruno-amarelado-escuro, Br. Mto esc.- Bruno muito escuro, Verm.-amar.-Vermelho-amarelado, Am.br.-Amarelo brunado); (2) **Estrutura: Tipo** (bl. subang.-blocos subangulares); (3) **Consistência: Seca** (Mto dura - Muito dura, Ext. dura - Extremamente dura), **Úmida** (Mto firme - Muito firme), **Plast.-Plasticidade** (Não plást.- Não plástica, Lig. plást.-Ligeiramente plástica), **Pegaj.-Pegajosidade** (Lig. pegaj.-Ligeiramente pegajosa), **Cer.-Cerosidade, Coesão** (Mod. coe. -Moderadamente coeso, Fort. coe. -Fortemente coeso).

Ainda sob a perspectiva pedológica, o perfil 3 ainda apresenta C2 inferior a 6m de profundidade cujo topo compreende um horizonte cascalhento de quartzo. A cor de C2 é completamente amarela (10YR 7/6 em amostra seca e 10YR 6/6 em amostra úmida). Sua textura é franco argilo-arenosa, possui estruturas e blocos subangulares a subarredondados, de grau moderado, fortemente coeso, tamanho médio, bem como consistência dura quando seca e friável quando úmida, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica (Tabela 3). Essas características sugerem que mesmo o C2 correspondendo, também, a uma aloterita, é um horizonte que possui indicadores de processos geoquímicos e biológicos que atuaram em seus materiais constituintes em virtude, inclusive, da presença de nódulos duros de aproximadamente 1 cm.

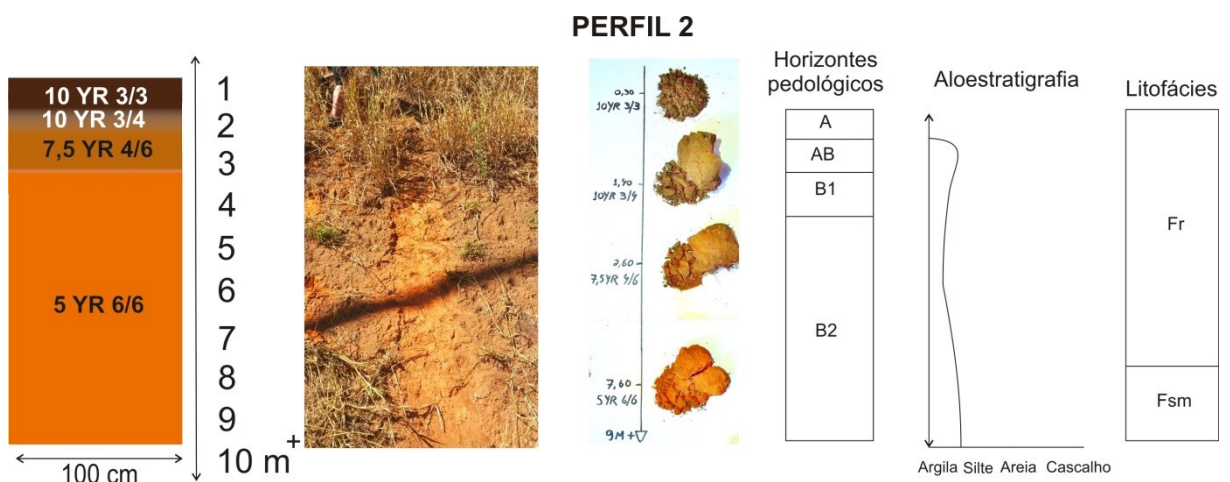
Pela abordagem pedológica a seção pode ser interpretada a partir de um desenvolvimento *in situ* de um B incipiente que se desenvolve a partir de um horizonte C, sendo este por sua vez, diferenciado em duas principais unidades aloteríticas. Em contrapartida, pela abordagem da aloestratigrafia segundo classificação de Miall (1996) esses materiais podem ser interpretados mediante processos de deposição coluvionar. Nesse contexto o perfil 3 pode ser diferenciado em quatro fácies de deposição, sendo na sequência: Fr, Fsm, Gmg e Fsm (Figura 67).

A primeira, Fr, se estende por até 4,5 m de profundidade, é composta principalmente por argila e silte, possui estrutura maciça com raízes e bioturbação e desenvolvimento de solo incipiente. Entre 4,5 m e 6 m, por sua vez, Fsm corresponde a materiais silto-argilosos com estrutura maciça cuja interpretação de Miall (1996) pode indicar depósitos de bacias de inundação ou canais abandonados. Entre 6 m e 7 m a fácies pode ser classificada como Gmg, na qual compreendem cascalhos de quartzo suportados por matriz fina, possui estrutura sedimentar de graduação normal, o que pode indicar fluxos e detritos pseudoplásticos, isto é, em ambiente de baixa energia, viscosos segundo Miall (1996). Abaixo de Gmg, por sua vez, encontra-se novamente Fsm de composição silte-argilosa, laminação maciça cuja gênese pode estar associada a bacias de inundação ou canais abandonados (Figura 77).

Enquanto o perfil 3 revela a maior expressão do horizonte C, o perfil 2, por sua vez, representa os materiais com maior contribuição do processo de pedogênese em sua atual estruturação. Pelo princípio da classificação aloestratigráfica, foram definidas duas fácies, sendo Fr e Fsm. A primeira se estende até 8m de profundidade e é caracterizada como materiais principalmente argilosos com forte bioturbação, enquanto Fsm em profundidade indica composição silto-argilosa de estrutura maciça, sendo este também com sinais de bioturbação. Nesse aspecto, pela abordagem pedológica, o perfil 2 pode ser classificado em quatro horizontes, sendo A, AB, Bi1 e Bi2 (Figura 78).

O primeiro corresponde a A até a profundidade de 40 cm, possui cor de amostra seca 10YR 3/3 (bruno-escuro) e úmida 10YR 2/2 (bruno-muito-escuro). Sua textura é franco-arenosa, estrutura de grau fraco, tamanho pequeno, blocos subangulares, além de consistência moderadamente coesa cuja amostra seca é dura e úmida é friável, bem como é não plástica e ligeiramente pegajosa (Tabela 3). O horizonte AB entre 40 cm e 1,40 m apresenta características semelhantes de consistência e textura, porém sua estrutura apresenta grau moderada e tamanho grande. Sua cor de amostra seca é 10YR 3/4 (bruno-amarelado-escuro) e úmida 10YR 3/3 (bruno-escuro).

**Figura 78:** Perfil 2 que indica a principal representação de coberturas relativamente avermelhadas e de maior profundidade subsuperficial.

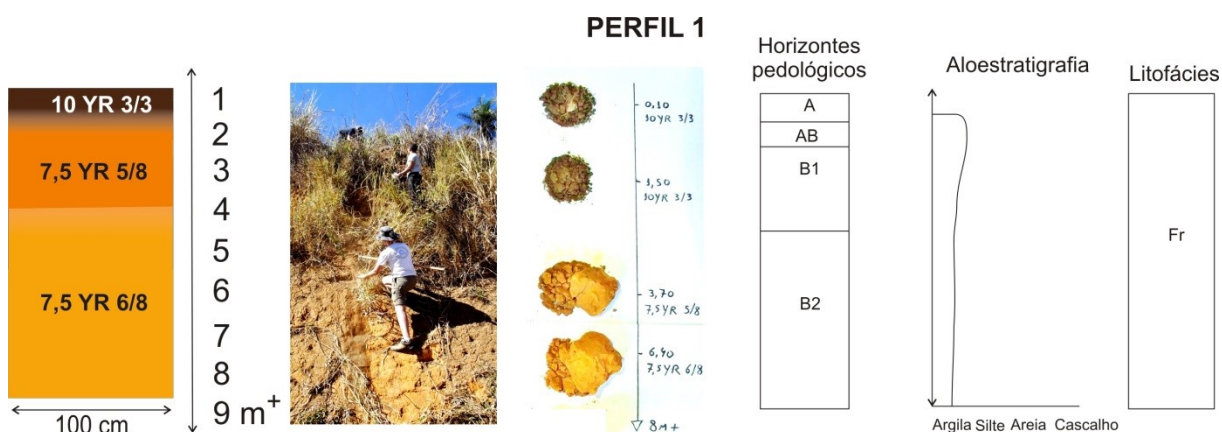


Logo abaixo, entre 1,40 m e 2,70 m por transição difusa encontra-se o Bi1. Este horizonte possui cor de amostra seca 7,5YR 4/6 (bruno-forte) e úmida 7,5YR 4/3 (bruno), textura franco-arenosa, estrutura de grau moderada, tamanho grande,

blocos subangulares e ainda consistência seca muito dura, úmida friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. A partir de 2,70 m, por sua vez, vez foi definido o horizonte Bi2. Este possui transição difusa, cor de amostra seca 5YR 6/6 (amarelo-avermelhado) e úmida 5YR 5/6 (vermelho-amarelado). Possui textura franco-argiloarenosa, estrutura de blocos subangulares de grau forte, tamanho grande, além de consistência seca muito dura, úmida é firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e forte coesão.

Por fim, o perfil 1 corresponde a materiais situados acima das concentrações de cascalhos de quartzo. Assim como o perfil 2, o perfil 1 também possui fortes indicadores de processo de pedogênese em seus constituintes sendo classificado em uma única fácies sedimentar Fr e quatro horizontes pedológicos, A, AB, Bi1 e Bi2. Pela classificação estratigráfica de Miall (1996), Fr corresponde a materiais finos predominantemente argilosos com forte bioturbação. Pela abordagem pedológica de Santos et al. (2005) e Santos et al. (2013), o perfil 2 possui até 9 m de profundidade, sendo até 50cm apresentando o horizonte A. Este possui cor de amostra seca 10YR 3/3 (bruno-escuro) e úmida 10YR 2/2 (bruno-muito-escuro), apresenta textura franco-arenosa, estrutura de grau fraca, tamanho pequeno, blocos subangulares, além de consistência seca muito dura, úmida friável, não pegajosa, ligeiramente plástica e moderadamente coesa.

**Figura 79:** Perfil 1 que indica materiais alaranjados com forte contribuição pedogenética em sua estruturação, sendo os cascalhos aparentes em profundidade.



O horizonte AB ocorre entre 50 cm e 1,50 m e possui características semelhantes ao AB do perfil 2. Em transição difusa, entre 1,50 m até 3,70 m ocorre o horizonte Bi1. Este horizonte possui cor 7,5 YR 5/8 (bruno-forte) em amostra seca

e 7,5YR 4/4 (bruno) em úmida, ao passo que sua textura se torna franco-argiloarenosa, de estrutura de blocos subangulares, de grau forte, tamanho grande, além de consistência seca muito dura, úmida é muito firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa e de forte coesão (figura 79 e Tabela 3). De características semelhantes, porém com maior amarelamento, ocorre Bi2 a partir de 3,70m a 8m+. A cor de Bi2 pela Caderneta de Munsell, por sua vez, é para amostra seca 7,5YR-6/8 (amarelo-avermelhado) e 7,5YR-4/4 (bruno) para úmida.

#### **4.3.2 Assinaturas físicas**

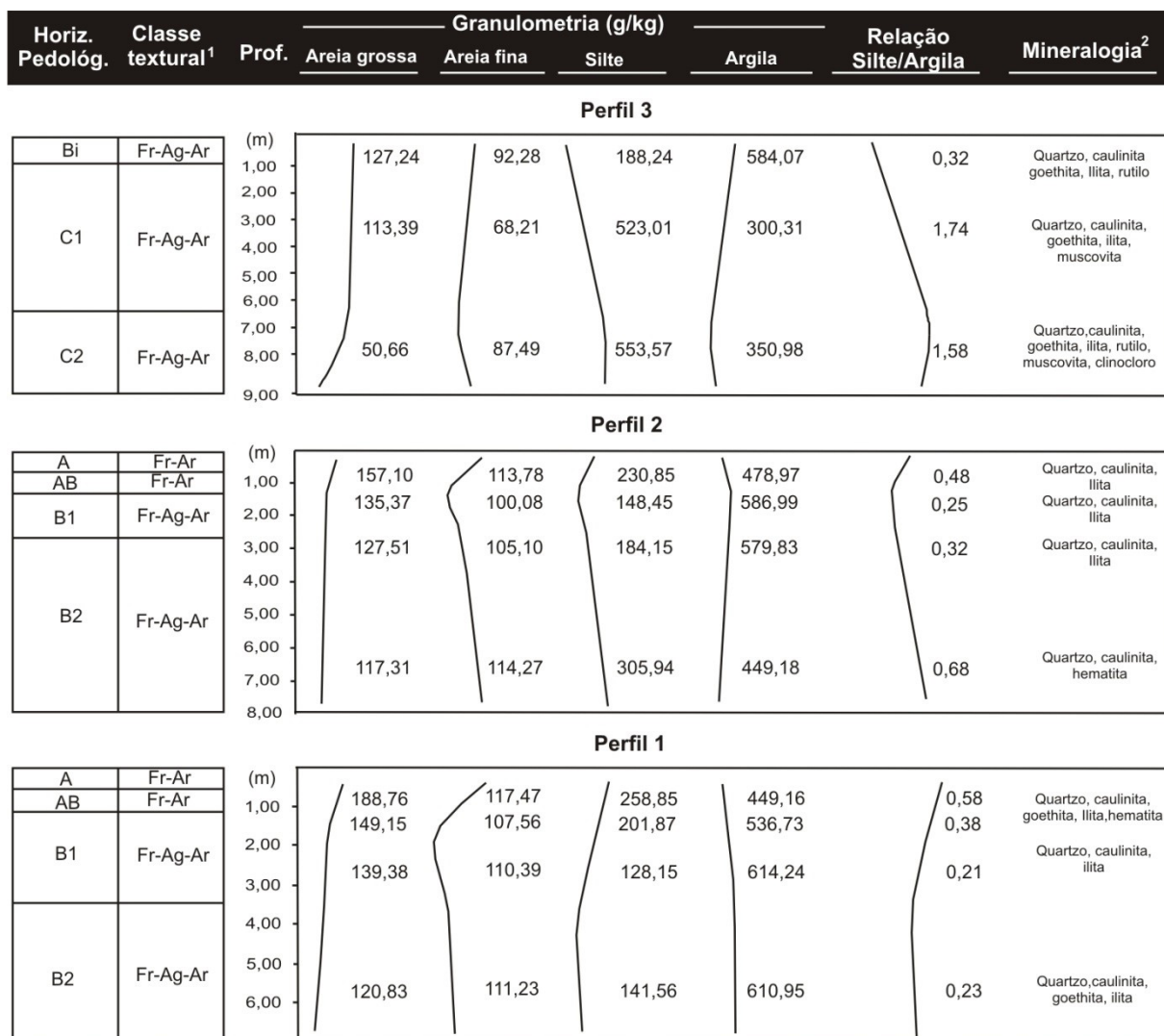
##### **4.3.2.1 Análise textural e composição mineralógica**

A análise textural dos materiais pode indicar processos relacionados à dinâmica das coberturas superficiais que podem ser de natureza alóctone ou autóctone a depender da gênese e evolução dos componentes. Em ambiente cujas condições exógenas e endógenas favoreçam um longo-termo de alterações geoquímicas *in situ*, materiais alóctones em sua gênese, por sua vez, podem ter seus registros progressivamente apagados tornando complexa sua interpretação, bem como a mobilização de materiais na superfície pode não gerar fácies bem marcadas, a depender da intensidade do processo.

As composições granulométricas apresentadas na Figura 80 dos perfis analisados indicam que o Perfil 3 revela um aumento significativo nos teores de silte em profundidade, associado a um decaimento nas quantidades de areia e argila. A relação silte/argila também reflete tal organização ao apresentar valores de até 1,74. Esses valores representam os materiais encontrados abaixo da cascalheira de quartzos, sendo ainda encontrados minerais primários como muscovita, rutilo e clinocloro. Na porção superior à cascalheira, por sua vez, há um predomínio do mineral secundário não expansivo 2:1 illita associada a muscovita conforme observado no horizonte C, o que pode sugerir que esses materiais na porção superior, ainda que tenham significativa estruturação pedogenética, são relativamente recentes.



**Figura 80:** Distribuição granulométrica por horizonte identificado, sua relação silte/argila e composição mineral.



<sup>1</sup>Classe textural: Baseado em Santos et al. (2005); Fr-Ar: Franco-arenosa; Fr-Ag-Ar: Franco-argilo-arenosa

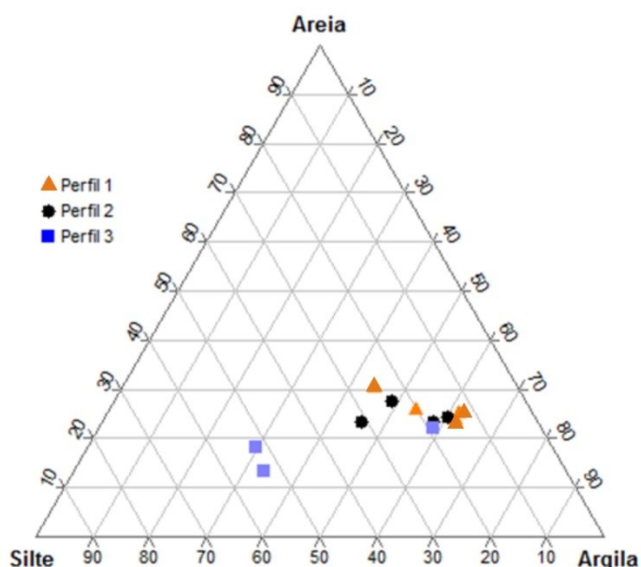
<sup>2</sup>Mineralogia: Difratoograma de raio-x em amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA)

Os perfis 2 e 3 correspondem àqueles materiais posicionados acima da cascalheira que revelam estruturação pedológica desenvolvida *in situ*. A distribuição granulométrica, nesse aspecto, apresentam maiores proporções de argila envolvendo valores entre 449 e 614 g/kg. Uma particularidade observada para esses perfis é que a distribuição granulométrica não ocorre em uma sequência linear, isto é, as argilas no Perfil 2, por exemplo, possuem o topo e a porção inferior contendo valores inferiores (478 e 449 g/kg, respectivamente) em relação ao encontrado no meio do perfil (586 e 579 g/kg). Para o Perfil 1 o comportamento é um pouco diferente no qual há um aumento em profundidade de 449 para 610 g/kg. A posição intermediária apresenta 614 g/kg. Para as frações de areias finas e grossas há

diferentes comportamentos, na qual em ambos os perfis 1 e 2 as areias finas possuem um decréscimo no meio da seção, cujos maiores valores concentram-se no topo e na base. As areias grossas, por sua vez, apresentam um decréscimo geral do topo para a base (Figura 80). A relação silte/argila dos perfis 1 e 2 ainda revelam valores negativos o que indica que esses materiais que compõem a seção acima dos cascalhos não passaram por forte intemperização de seus constituintes, ainda que estes possuam alguma estruturação pedológica. A mineralogia corrobora ao revelar que os principais minerais encontrados foram illita, caulinita, quartzo, goethita e hematita.

Essa variabilidade de composição granulométrica foi representada também por diagrama textural (Figura 81). O Perfil 3 representa a maior expressão e frações silto-argilosas correspondente a uma alterita. Os Perfis 1 e 2, por sua vez, representam a composição encontrada nos materiais situados acima da cascalheira, na qual possuem maiores aspectos pedogenéticos em sua estruturação.

**Figura 81:** Diagrama textural que indica a variabilidade na distribuição granulométrica.



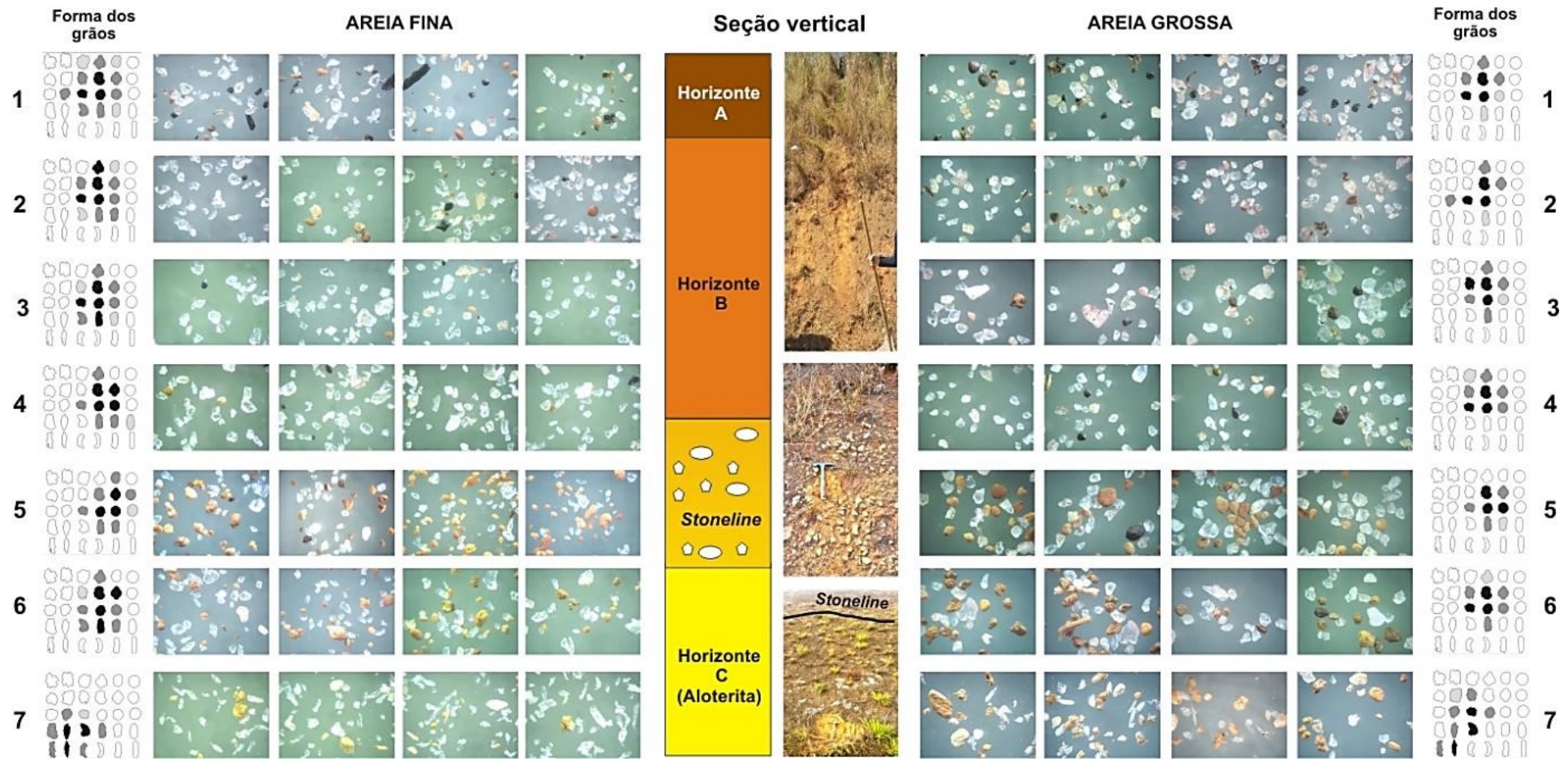
#### 4.3.3 Morfoscopia de areias finas e grossas de TFSA

Em relação às oito amostras coletadas da seção investigada, isto é de cada horizonte, mais a cascalheira, os comportamentos dos grãos de quartzo tamanho areia grossa (0,21 – 2,0mm) e areia fina (0,05 – 0,21mm) foram sistematizados na Figura 82. O resultado são variações de características como arredondamento,

circularidade, alongamento e textura da superfície das partículas. A Figura 82 representa a tentativa de se organizar o comportamento geral desses grãos no talude investigado. Desse modo, as faixas entre 1 a 4 correspondem ao *solum* (horizontes A + B), 5 ao horizonte cascalhento de quartzo, enquanto 6 e 7 se referem às porções inferiores dos materiais inconsolidados abaixo da cascalheira.

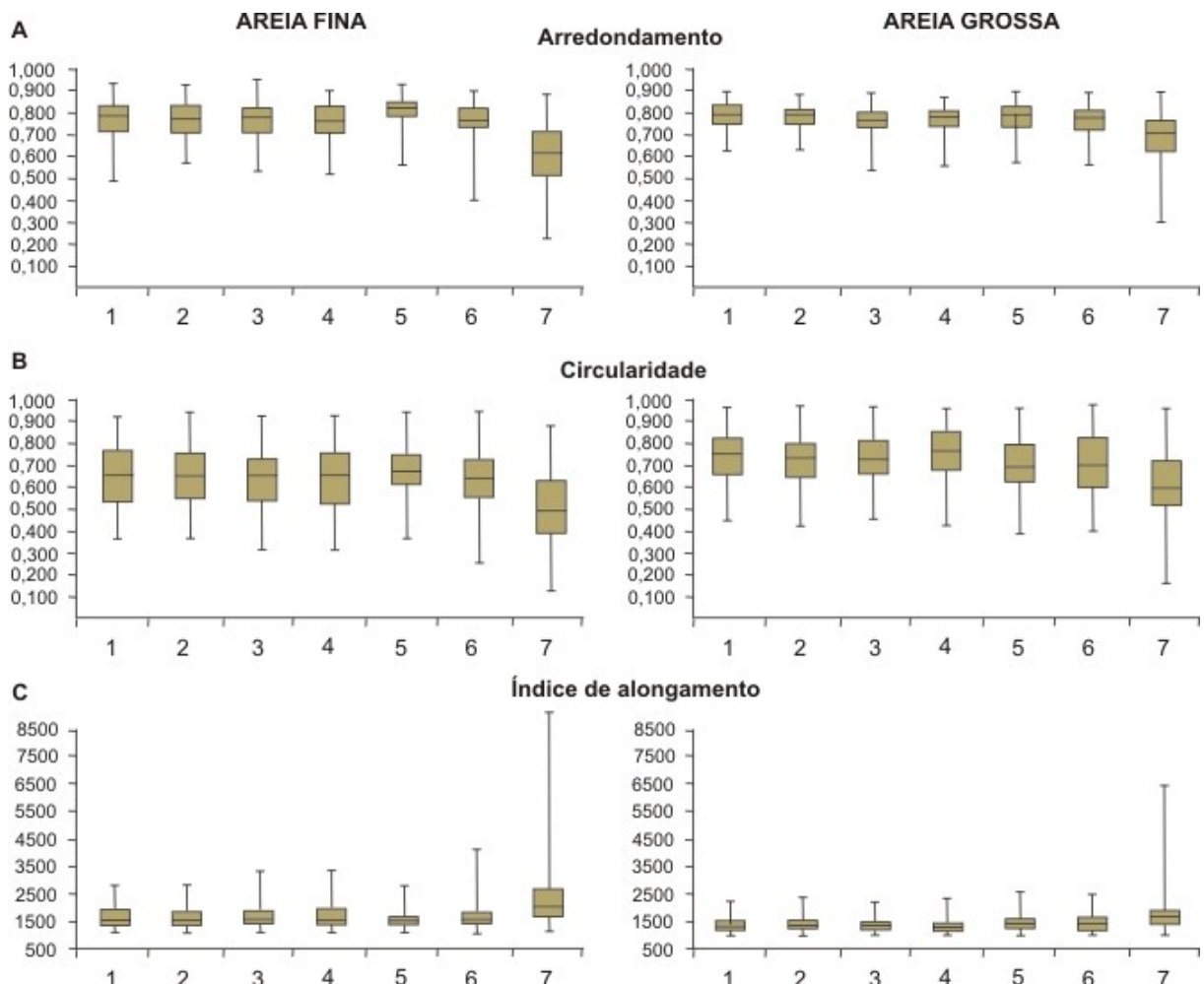
No *solum* são observados principalmente fragmentos de quartzo de superfície brilhante e, em menor proporção, nódulos. Estes, por sua vez, são mais recorrentes conforme se aproxima do horizonte A (Figura 82). Na faixa 5 correspondente à *stoneline*, os grãos de areias, tanto finas quanto grossas, revelam quantidades consideráveis de quartzos foscos, de superfície lisa, geralmente subarrendados, cor sépia por precipitados ferruginosos e ainda pontualmente nódulos (Figura 82). Essa faixa 5 representa o trecho da *stoneline*, bem como em contato marcado entre a porção superior de materiais finos alaranjados-avermelhados e inferiores amarelados. A faixa 6 corresponde à porção imediatamente abaixo da manifestação da cascalheira, e apresenta uma mescla de aspectos observados em areias entre 1 e 5, ao passo que a faixa 7, situada completamente no horizonte C ou alterita, tem seus grãos com aspectos bastante fraturados, alongados e de arestas irregulares (Figura 82). Estas características destoam significativamente das demais faixas de análise, principalmente, pela presença de minerais primários como a muscovita e o rutilo.

**Figura 82:** Morfoscopia de grãos de areia fina e grossa de quartzos cujos aspectos os diferenciam entre o *solum* (porção superior), a cascalheira e a alterita referente às amostras coletadas em campo.



Os resultados revelam que, para os grãos finos de areia posicionados acima da *stoneline* (faixas 1 a 4), sua mediana de arredondamento é 0,777 com variação entre 0,707 e 0,835. Para os grãos de areia grossa, a mediana de arredondamento é 0,799 com variação entre 0,784 e 0,806 (Figura 83A). Nas faixas 5 e 6 correspondentes à zona de ocorrência da *stoneline*, por sua vez, ocorrem os maiores valores de arredondamento, na qual atinge 0,822 na faixa 5 para areia fina e 0,803 para areia grossa (Figura 83A). Na faixa 7 no horizonte C, o arredondamento é significativamente reduzido, cujo valor expressa 0,618 para areia fina e 0,719 para areia grossa (Figura 83A).

**Figura 83:** Arredondamento, circularidade e índice de alongamento gerados pelo programa ImageJ para areia fina e areia grossa.



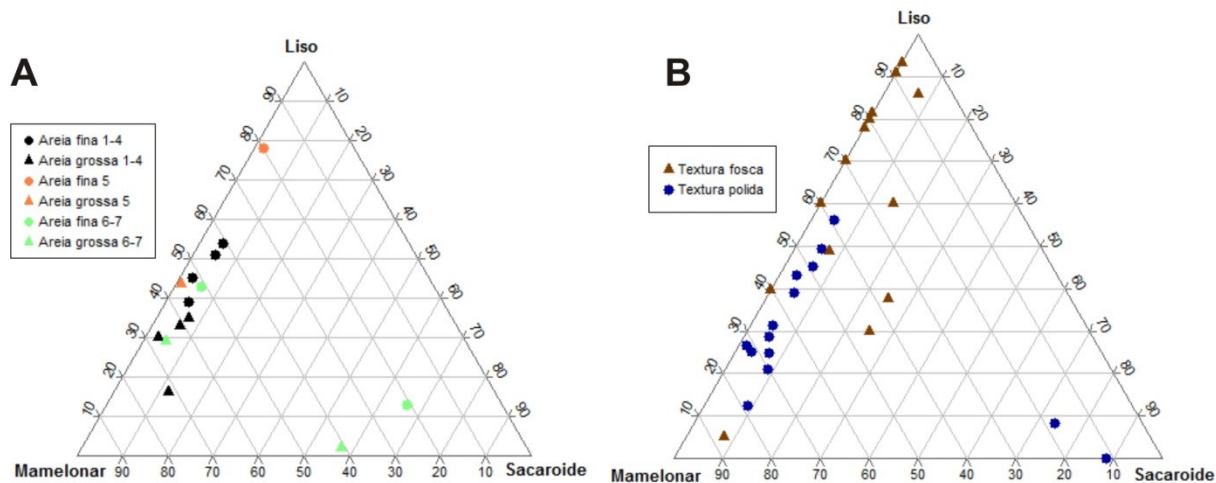
A circularidade revela padrão de comportamento relativamente semelhante entre as areias finas e grossas, porém, segundo os resultados, as areias grossas tendem a possuir maior circularidade de suas partículas. Seguindo o raciocínio

anterior, os grãos finos de areia entre as faixas 1 e 4 possuem mediana de circularidade de 0,675 com variação entre 0,673 e 0,677, enquanto a areia grossa revela mediana de 0,745 com variações entre 0,770 e 0,753. Nas faixas 5 e 6 que contém a *stoneline*, as areias finas apresentaram circularidade de até 0,697 em relação à 0,694 para as areias grossas. Em profundidade, ou seja, faixa 7, a circularidade possui uma queda abrupta para 0,502 para as areias finas e 0,598 para as areias grossas (Figura 83B).

O índice de alongamento, por sua vez, revela partículas mais alongadas no horizonte C em detrimento dos materiais posicionados nas porções superiores, sendo os menores índices encontrados para os fragmentos que integram o *solum*. Os grãos finos de areia no horizonte C (faixa 7) atingem o valor de 1,991, ao passo que as grossas atingem 1,671 (Figura 83C). Em contrapartida as areias finas contidas no *solum* (faixas 1 a 4) possuem mediana de 1,481 sendo sua variação entre 1,479 e 1,488, ao passo que as areias grossas tiveram a menor mediana de 1,342, sendo variação de 1,300 a 1,366. A faixa 5, por sua vez, teve suas areias finas com valor de 1,590 e areias grossas 1,442 (Figura 83C).

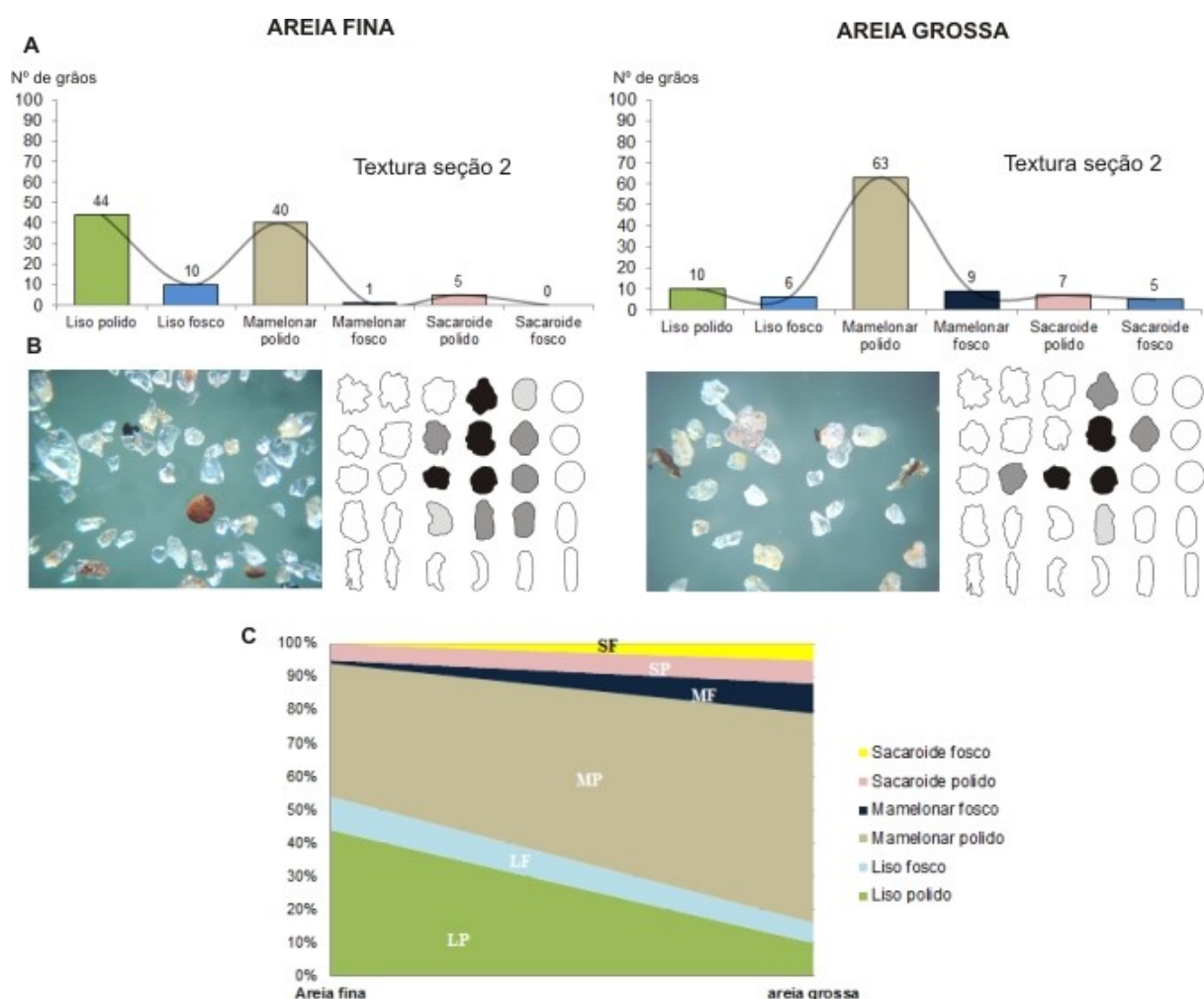
A textura e a morfologia dos grãos de areias tanto finas quanto grossas são outros aspectos que diferenciam consideravelmente os materiais que integram o *solum*, a cascalheira e a alterita. Por meio do diagrama textural (Figura 84A e 84B), notavelmente há um predomínio de grãos mamelonares para as seções diferenciadas (1-4; 5; 6-7), seguido de lisos e raramente sacaroides. A textura, por sua vez, também indica que esses grãos de morfologia mamelonar também possuem sua superfície polida, apresentando superfície também fosca pelos filmes de óxidos precipitados em película que envolve os fragmentos. Os grãos sacaroides se encontram em mínima quantidade dentre os 1100 grãos de areia fina e 1100 de areia grossa analisados, na qual possuem ainda textura polida e correspondem à seção 6-7, abaixo das cascalheiras. Observa-se que há um predomínio de grãos mamelonares de textura polida entre as seções 1 e 4, ao passo que na seção 5, correspondente à cascalheira, a textura se apresenta principalmente fosca.

**Figura 84:** Diagrama textural sobre a distribuição morfológica e textural dos grãos analisados.



A seguir, são apresentados trechos representativos sobre as principais diferenciações na seção vertical, na qual correspondem às faixas 2 (*solum*), 5 (*stoneline*) e 7 (Horizonte C). A faixa 2 revela grãos de textura sobretudo lisa polida (44% para areias finas) e mamelonar polida (63% para areias grossas), pela classificação de Bigarella et al. (1955) citado por Bertolini et al. (2016) (Figura 85A), isto é, morfologia principalmente subarredondada segundo o Diagrama de Powers (POWER, 1982) (Figura 85B). A Figura 75C, por sua vez, indica que à medida que se aumenta o tamanho da areia, reduz-se a quantidade de grãos lisos polidos, ao passo que aumenta-se os mameloraes polidos e se mantém relativamente os grãos de demais texturas.

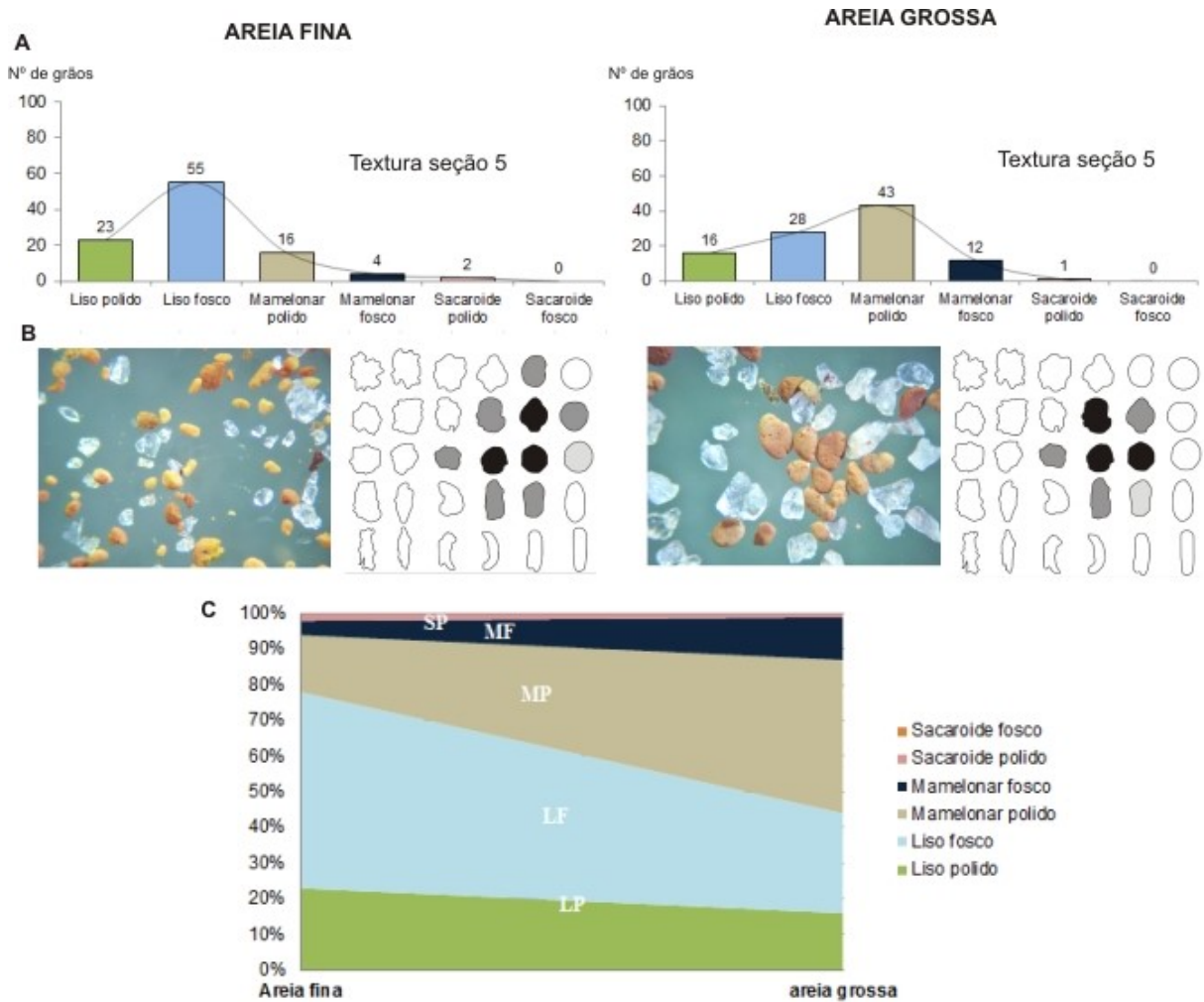
**Figura 85:** Aspectos representativos sobre o *solum* referente às seções 1-4.



Enquanto o *solum* (faixas 1 a 4) apresenta a tendência de apresentar grãos subarredondados de quartzo de superfície polida, os grãos que integram a stoneline (faixa 5), por sua vez, revelam maior expressão de grãos finos de areia arredondados e grossos subarredondados cuja superfície é lisa e fosca (Figuras 86A e 86B). Isto é, são grãos de quartzo de aspecto relativamente mais regular em relação aos grãos sotopostos e sobrepostos à stoneline que possuem cor sépia. Esses fragmentos são encontrados pontualmente tanto no *solum* quanto na alterita. Ao comparar a concentração de diferentes texturas apresentadas pelos grãos de areias grossas e finas, por sua vez, nota-se a redução de quartzos lisos polidos quanto maior o tamanho da partícula, ou seja, a areia grossa possui maior expressão de grãos mamelonares polidos (43%), porém, com quantidades significativas de liso fosco (28%), ao passo que 55% dos grãos de areia fina observados foram lisos-foscas.

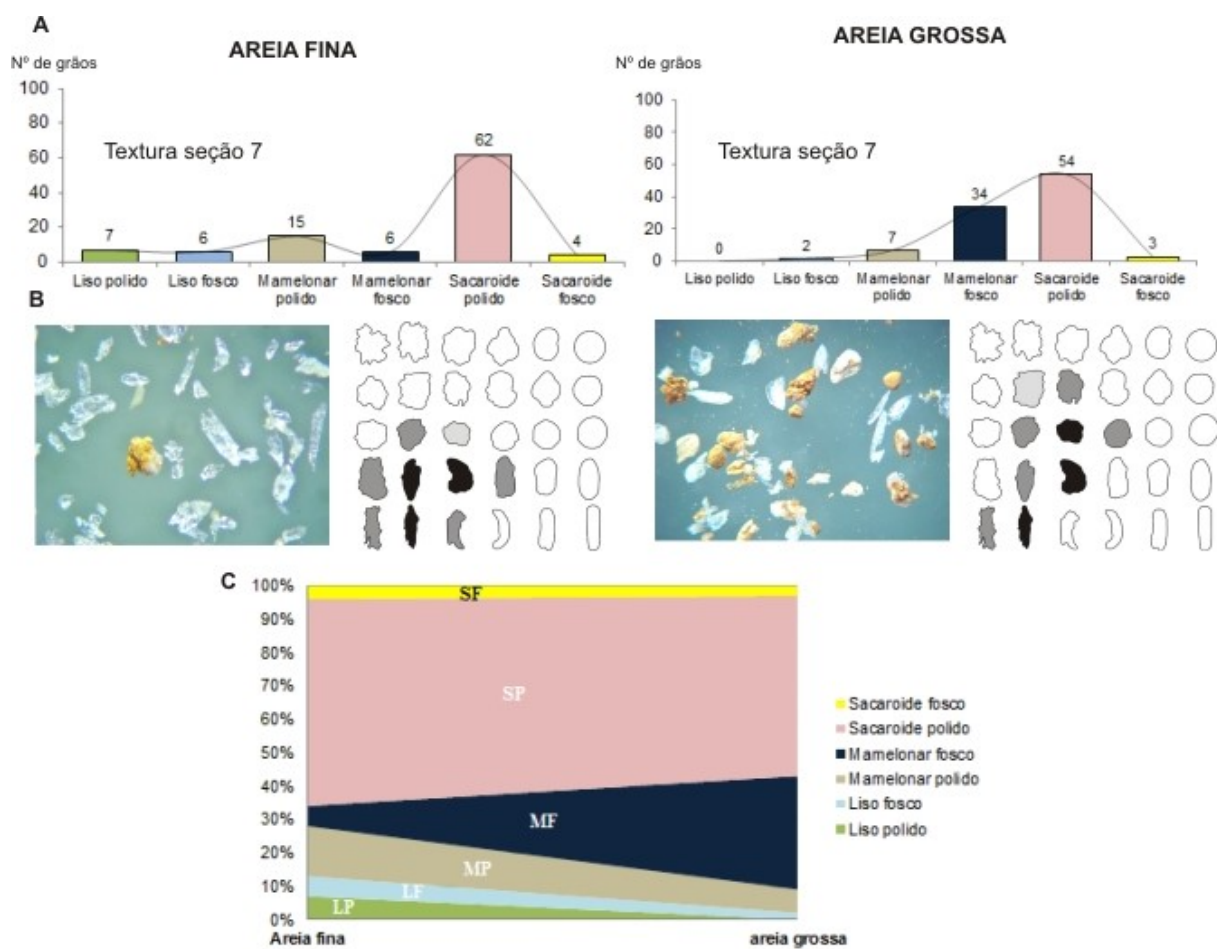


**Figura 86:** Aspecto geral da textura e morfologia dos grãos encontrados na faixa 5 correspondente à *stoneline*.



A faixa 7, que representa especificamente rocha intemperizada, isto é, horizonte C ou alterita, por sua vez, revela o predomínio de textura sacaróide polido tanto para areias finas (62%) quanto para areias grossas (54%) (Figura 87A). A morfologia desse grão corresponde a fragmentos angulares a subangulares segundo o Diagrama de Powers cuja superfície é principalmente brilhante (Figura 87B). Nessa faixa ainda são encontradas partículas que possuem aspecto fosco, porém, sua superfície é consideravelmente irregular em relação às demais observadas com mesmo aspecto. Em relação às proporções de texturas entre areias finas e grossas, nota-se que as maiores são principalmente sacaróides polidos (54%) e mamelonares foscas (34%), ao passo que à medida que se reduz o tamanho dos grãos tendem a prevalecer partículas sacaróides polidas (62%) e mamelonares polidas (15%) (Figura 87C).

**Figura 87:** Aspectos das areias em profundidade abaixo de *stoneline*, seção 7.



Tanto a morfoscopia como a análise textural e as caracterizações morfológicas em campo são subsídios para se investigar o comportamento dos materiais que integram e modelam a superfície. A interpretação dos dados deste trabalho sugere que os materiais que compõem o talude são predominantemente finos de gênese, principalmente, alóctone cujos processos de pedogênese e bioturbação contribuíram para a atual organização estrutural dos constituintes investigados.

### 2.3.3 Assinaturas geoquímicas

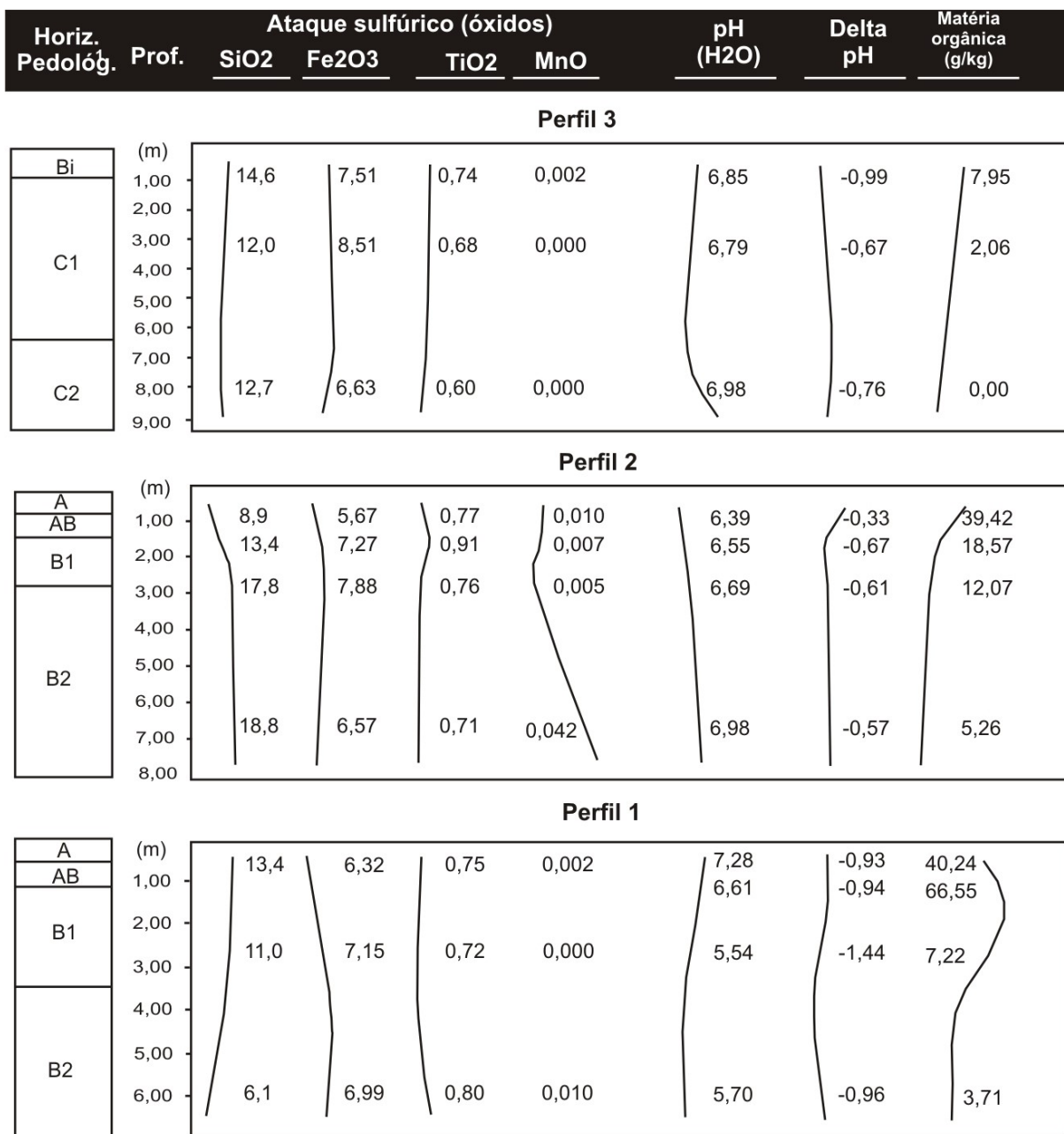
Análises geoquímicas podem fornecer subsídio sobre particularidades marcadas nos componentes que integram a seção investigada. Para este trabalho, apresentam-se valores dos teores de sílica, ferro, titânio, manganês, além do pH, sua variação e o teor de matéria orgânica (Figura 88). Nesse contexto, a leitura de manganês pelo método da extração pelo ataque sulfúrico revelou valor relativamente significativo para a porção basal do Perfil 2 (0,042%) e do Perfil 1 (0,010 %). Esse

trecho encontra-se relativamente próximo da cascalheira, onde também foram encontrados precipitados de óxidos de manganês cristalizados na superfície dos fragmentos grossos de quartzo.

Os valores de ferro se mostraram baixos e corroboram para análises de solos existentes no contexto do carste de Lagoa Santa (SHINZATO, 1998). Os filmes de óxidos que revestem boa parcela dos cristais dos quartzos, tanto em tamanho areia como cascalho, podem ser originados de um contexto externo ao que é observado na seção lateral. O trecho que houve maior valor para o ferro (8,51%) encontra-se no Perfil 3 logo abaixo da cascalheira de quartzos, o que pode sugerir uma concentração relativa desse elemento. Os valores do ferro para os Perfis 1 e 2, por sua vez, revelam valores semelhantes ao encontrado em profundidade na alterita (por exemplo, 6,63%, 7,88%, 6,99%) (Figura 88), o que indica a escassez desse elemento nos materiais de origem alóctone que arquitetaram a seção investigada.

O titânio é comumente utilizado para se observar aspectos sobre a aloctonia ou autoctonia das coberturas superficiais, que para o caso dos Perfis analisados há variabilidade em sua distribuição vertical. O Perfil 3, que corresponde aos materiais posicionados sobretudo abaixo da cascalheira, indicou os menores valores para o titânio, sendo 0,68% e 0,60% em profundidade. O Perfil 2 indica a particularidade de apresentar uma concentração relativa de 0,91 no horizonte AB, ao passo que nas porções superior e inferior os valores oscilam entre 0,77% e 0,76%, sendo reduzidos em profundidade para 0,71%. Enquanto o Perfil 1 possui a maior concentração relativa em profundidade com 0,80% enquanto há uma diminuição na zona intermediária do perfil em 0,72% e um aumento próximo da superfície, com 0,75%. Esses valores irregulares, por sua vez, são interpretados nesse trabalho sobre a hipótese sobre a aloctonia dos materiais que integram essa seção investigada.

**Figura 88:** Análises geoquímicas para os perfis investigados, sendo apresentados o ataque sulfúrico, o pH e a matéria orgânica.



O pH e sua variação também apresentam relativa variabilidade cujo valor médio de 5,98 revela baixa acidez, sendo o delta pH apresentando valores negativos, o que sugere uma temporalidade relativamente recente para a organização desses materiais. A matéria orgânica indica um decaimento geral do topo em direção a superfície na qual coincide com a estruturação pedológica que se processou posteriormente à deposição colúvio-aluvial desses materiais.

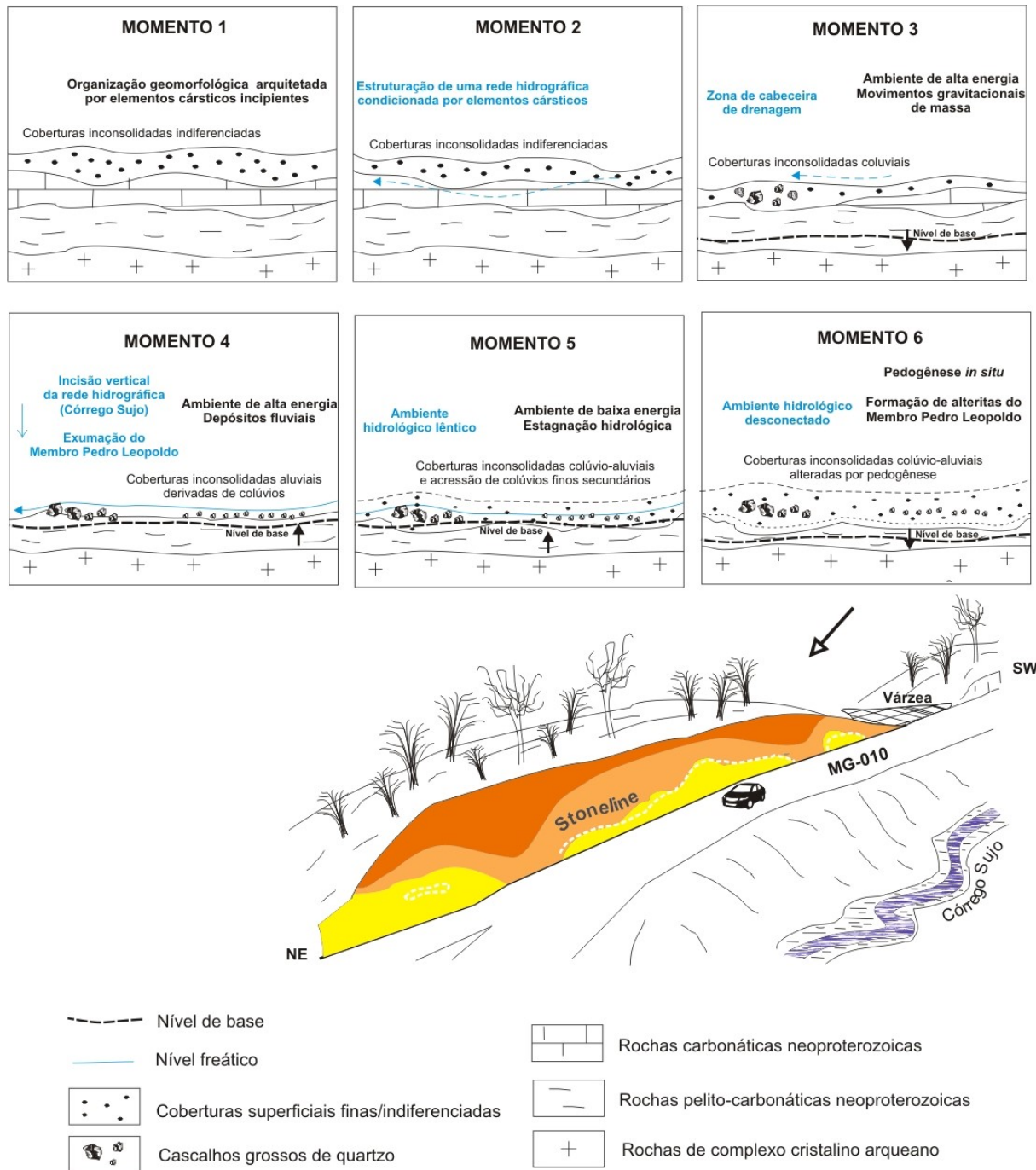
#### **4.3.4 Interpretações sobre a gênese e evolução dos materiais na seção investigada**

A partir da investigação de assinaturas físicas e químicas marcadas pelos materiais que integram a seção e de observações do entorno, é possível formular uma hipótese sobre a gênese e evolução de seus componentes. A Figura 89 corresponde a um modelo que sumariza e organiza cenários de evolução de longo-termo e representa os principais fenômenos que edificaram os materiais atualmente observados na seção investigada. Esse modelo foi dividido em seis principais momentos, o qual quanto mais se distancia da atualidade, menos testemunhos são encontrados para se reconstituir o ambiente.

Nesse aspecto, os momentos 1 e 2 correspondem a um cenário anterior à organização hidrológica que findou no atual córrego Sujo e sua rede de afluentes, cuja zonalidade em que se encontra a seção aqui investigada revela que esta área possivelmente era estruturada pelos carbonatos da Formação Lagoa Santa associados a coberturas superficiais inconsolidadas. Essa afirmativa é apontada principalmente pelas observações do entorno, sobre os testemunhos presentes em carbonatos nos interflúvios, bem como pelas organizações morfológicas do talvegue do atual córrego Sujo em relação ao arcabouço geológico que indica que os calcifilitos do Membro Pedro Leopoldo foram exumados posteriormente à consolidação dessa rede hidrográfica, o que deixou os carbonatos das imediações como testemunhos dessa dissecação.

Conforme o observado em campo, nas imediações da seção investigada sobre a interface solo-rocha dos calcilutitos do Membro Pedro Leopoldo e os carbonatos do Membro Lagoa Santa, há sinais de um desenvolvimento cárstico incipiente testemunhados por frondosas raízes de introdução, que recortam ambos os Membros. Esse desenvolvimento é interpretado como testemunhos de temporalidades anteriores à estruturação da rede hidrográfica que estrutura atualmente o córrego Sujo. Isto é, as condições ambientais que arquitetaram os atuais materiais na seção investigada são completamente discordantes daquelas necessárias para formação desse tipo de desenvolvimento vertical do manto de alteração.

**Figura 89:** Modelo de evolução esquemática sobre a estruturação dos atuais materiais encontrados na seção lateral investigada.



A passagem do Momento 2 para o 3 corresponde a um cenário cujo ambiente revela indicativos da existência de um *input* de energia capaz de reorganizar a superfície. Esse excedente energético possivelmente esteve associado a um rebaixamento significativo do nível de base, associado a um curso d'água atualmente equivalente ao ribeirão da Mata. Esse rebaixamento, por sua vez,

reverberou para as imediações desse curso fluvial mediante intensa regressão remontante e estruturação de uma rede hidrográfica de capacidade de incisão vertical significativa. Nesse contexto, o Momento 3 representa, portanto, o período em que os carbonatos foram completamente recortados tendo seu membro basal, os calcilitos do Membro Pedro Leopoldo, exumados. Em vista que a rede hidrográfica se consolidou progressivamente, associada a uma erosão remontante de suas cabeceiras, nesse Momento 3 as coberturas superficiais também foram reorganizadas de maneira que a energia morfodinâmica foi capaz de mobilizar fragmentos de quartzo de até 30 cm de diâmetro. Um cenário possível para que materiais nessas dimensões sejam mobilizados é mediante movimentos gravitacionais de massa associada a uma dinâmica de cabeceira de drenagem de alta energia de desmonte.

Por meio da continuação das retrações remontantes das cabeceiras de drenagem que se estruturavam motivadas por esse rebaixamento geral do nível de base, posteriormente no Momento 4 a seção não possuiu mais a contribuição coluvial na magnitude do Momento 3. Entretanto, os dados, sobretudo, de campo, indicam que houve um curso fluvial de energia suficiente para transportar e selecionar alúvios por volta de 2 a 6 cm nessa seção. Nesse Momento 4 o excedente energético no sistema geomorfológico que estruturou essa seção é relativamente mais tênue que o Momento 3, bem como o nível de base no Momento 4, já apresenta um gradiente menor em relação ao Momento 3 visto que o córrego Sujo aparentemente dissecou a superfície de maneira menos intensa. Notadamente, a menor intensidade do Momento 4 é de maneira relativa em relação ao Momento 3, visto sua capacidade de transporte sedimentar. Nesse aspecto, o Momento 4 também corresponde à continuação da exumação do Membro Pedro Leopoldo e ampliação de suas margens. Esses cascalhos de quartzo que variam entre 2 a 6 cm ainda podem ter duas origens, ou seja, podem ser herdados tanto de colúvios mais grossos depositados anteriormente em condição de cabeceira de drenagem, como também posteriormente pelo transporte de cascalhos provenientes de colúvios posicionados à montante.

O Momento 5, por sua vez, representa uma completa atenuação da energia morfodinâmica, esta possivelmente associada ao alcance do nível de base que

regulava a intensidade na dissecação superficial. Nesse Momento 5, a seção investigada esteve em um ambiente que favoreceu o acúmulo hídrico de maneira calma e a deposição de colúvios finos provenientes do entorno, na qual foram misturados em meio aos cascalhos alúvio-colúviais grossos testemunhos dos momentos anteriores de maior energia. Esse Momento 5 possui atualmente como testemunho a existência de precipitados de óxidos, bem como uma relativa cobertura superficial de materiais finos cujos grãos de quartzo revelam cristais relativamente subarredondados polidos e outros envolvidos por filmes de óxidos de tempos anteriores. Conforme as análises de morfoscopia, os grãos de quartzo que compõem a *stoneline* possuem significativa concentração de partículas envolvidas por esses filmes de óxidos, bem como são mais arredondadas. Esses precipitados são interpretados a um momento anterior ao ambiente hidromórfico do Momento 5, visto que essas partículas possuem relativa seleção e organização a partir do curso d'água que estruturou os cascalhos maiores. Possivelmente esses grãos vieram de montante.

Por fim, o Momento 6 corresponde à estruturação da seção investigada. Nesse contexto, há uma desconexão hídrica em que o córrego Sujo atualmente está posicionado acerca de 10m abaixo desses materiais, bem como nas imediações há algumas morfologias topograficamente planas horizontalizadas sem contribuição hídrica. Esse Momento 6, portanto, indica que houve uma nova descida do nível de base, sendo esta decida não necessariamente contínua e abrupta, mas sim por um instante que a água se desconectou dos materiais investigados estruturando as planícies adjacentes.



#### **4.4 Últimas considerações**

A investigação sobre coberturas superficiais e o caráter alóctone ou autóctone de seus materiais é um exercício que contribui para a interpretação sobre um cenário geomorfológico. Neste Capítulo 4, foram realizadas análises sobre as assinaturas físicas e geoquímicas marcadas nos constituintes que integram a seção lateral, cujos resultados laboratoriais associados a pesquisas de campo sobre o contexto geomorfológico das imediações e seus testemunhos na superfície favoreceram a proposta de uma reconstituição paleoambiental sobre os fenômenos que edificaram os componentes atualmente observados. A escala de análise para essa seção envolve uma abordagem que detalha particularidades sobre os materiais, sendo que não corresponde necessariamente a fenômenos recentes. Isto é, ainda que uma escala que investiga objetos e recortes espaciais locais, sua interpretação pode representar uma multiplicidade de resultados de processos testemunhados em uma única seção lateral na superfície. Ainda que seja possível atribuir algumas interpretações sobre gênese e evolução desses materiais, o qual quanto mais recente se deram os processos, mais registros estão marcados nesses componentes, notadamente há a necessidade de um trânsito escalar para que mais elementos dessa seção sejam compreendidos e façam algum sentido geomorfológico.

# ***CAPÍTULO 5***

**SÍNTESES, DISCUSSÕES E ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES**

## **5 SÍNTESES, DISCUSSÕES E ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES**

---

Esta pesquisa teve como propósito o debruçar sobre os possíveis significados de coberturas pedológicas que integram o contexto geomorfológico do norte de Belo Horizonte, sobretudo, no domínio do município de Vespasiano, Minas Gerais. A área investigada corresponde à bacia hidrográfica do córrego Sujo, este afluente do ribeirão da Mata que deságua no rio das Velhas. Esta área, do ponto de vista geológico, representa um contato regional entre duas principais unidades litoestruturais distintas em pouco mais de 50km<sup>2</sup>, sendo uma, ao sul, o Complexo Belo Horizonte, de composição granítica-gnáissica, e a outra a bacia sedimentar neoproterozoica do Grupo Bambuí, de formações carbonatadas e pelíticas. O contraste entre esses distintos grupos litoestruturais, por sua vez, também pode condicionar a maneira como as formas do relevo são modeladas e suas respectivas coberturas pedológicas estruturadas. Magalhães Jr. e Saadi (1994) investigaram contexto espacial semelhante para o rio das Velhas, e constataram que zonalidades nessa diferenciação litoestrutural podem corresponder a áreas mais sensíveis frente a perturbações de movimentos crustais e seus reflexos intercontinentais.

Para este trabalho foi realizada a investigação sobre fenômenos relacionados à estruturação das coberturas superficiais na área da bacia do córrego Sujo. Nesse aspecto, esta pesquisa versou sobre possíveis significados geomorfológicos mediante a análise dos porquês de recorrências de fragmentos grossos de quartzos subarredondados a subangulosos distribuídos com certa organização e estruturação na bacia. Para ser possível atribuir significados a materiais herdados de processos ocorridos outrora, foi necessário, também, bases teórico-conceituais sobre a lida com materiais inconsolidados e suas investigações à luz de processos geomorfológicos. Ou seja, existe uma variedade de procedimentos destinados a diferentes propósitos de análise, sendo a junção entre seus vários resultados não revelarem, necessariamente, mesmas conclusões sobre mesmos fenômenos.

A partir dessas necessidades teórico-conceituais, neste trabalho foi utilizada concepções tratadas, sobretudo, por Ab'Saber (1969), conforme apresentado no Capítulo 1, e houve duas ponderações como resultado. A primeira é que esta

pesquisa não abordou as investigações sobre a fisiologia da paisagem referentes à 3ª categoria analítica de Ab'Saber (1969), em vista que esta categoria envolve a lida com processos plenamente atuantes no tempo e espaço. A segunda ponderação é sobre uma adaptação na maneira como foram tratados os 1º e 2º níveis de tratamento. Isto é, este trabalho não teve a compartimentação regional geomorfológica como partida, mas sim a observação de assinaturas físicas, geoquímicas e mineralógicas das coberturas pedológicas. Posteriormente, a partir do observado, buscaram-se elementos regionais que pudessem auxiliar a interpretação dos materiais.

Notadamente, observações realizadas em campo foram o principal norteador dos questionamentos sobre essas coberturas, isto é, quais são as razões para que haja recorrentes concentrações de fragmentos grossos de quartzo, de dimensões consideráveis, suportados por alteritas/rochas e estruturados com certa regularidade ao longo do perímetro da bacia investigada? Qual significado geomorfológico é possível ser atribuído a esses materiais?

O trabalho em sua estrutura final, portanto, apresentou dois artigos como resultados. Um foi destinado à perspectiva mais regional da bacia do córrego Sujo, bem como a inserção de suas respectivas coberturas inconsolidadas. O outro verticaliza as investigações sobre uma seção lateral que contém características em comum com as demais coberturas, sendo desdobrada uma série de procedimentos laboratoriais que revelem maior detalhamento sobre aspectos relacionados à pedogênese e sua estruturação. Em ambos os artigos as interpretações finais caminharam para modelos sobre possíveis significados geomorfológicos, sendo estes limitados às escalas espaço-temporais de atuação de seus fenômenos.

Sob a abordagem regional, esta pesquisa teve como resultado uma bacia hidrográfica que se estruturou, sobretudo, mediante alterações de níveis de base associados a componentes do arcabouço geológico. Essas alterações, por sua vez, reverberaram na estruturação de uma rede de drenagem e desmontes remontantes de suas cabeceiras. Por conseguinte, as coberturas inconsolidadas se reorganizaram e hoje resguardam testemunhos sobre um último momento de elevada energia morfodinâmica, sendo esta suficiente para mobilizar fragmentos

grossos na superfície. Para uma escala local, por sua vez, as assinaturas físicas, geoquímicas e mineralógicas dos componentes que integram a seção lateral indicaram que seus materiais possuem filiação, sobretudo, alóctone colúvio-aluvial, sendo posteriormente alteradas por uma biogeoquímica *in situ*. Nessa escala local é possível notar, ainda, momentos de alteração de níveis de base do córrego Sujo, sendo a seção lateral atualmente posicionada cerca de 20 m acima do atual leito fluvial, além de estar circundada por pequenas depressões típicas de várzeas, isto é, estas últimas referentes a ambientes que receberam sedimentação.

Tanto as investigações sobre as coberturas superficiais em âmbito regional, quanto as de âmbito local necessitaram a busca por outros componentes da superfície, em suas respectivas escalas de investigação, para a compreensão sobre suas respectivas gênese. Uma particularidade sobre os resultados obtidos em suas múltiplas escalas de análise é sobre a relativa concordância entre os fenômenos que edificaram tanto o perímetro da bacia e seus materiais quanto as coberturas pedológicas na seção investigada. Dada concordância revela que os diferentes caminhos trilhados culminaram em uma gênese em comum, que reverbera de diferentes maneiras conforme se alteram as escalas de análise.

Outro aspecto relacionado ao desenvolvimento do trabalho versou sobre o próprio sujeito que investigou esses materiais e seus significados. Em um primeiro momento, foram realizadas observações de campo no contexto meridional do carste de Lagoa Santa em seu contato com o embasamento cristalino, no município de Vespasiano. Nesse contexto, foram observadas recorrências de cascalheiras de quartzo subarredondados a subangulosos em meio às coberturas inconsolidadas. Estas cascalheiras, apresentando características relativamente comuns nos domínios da bacia hidrográfica do córrego Sujo, fizeram com que fosse definida uma seção lateral representativa para centrar as análises laboratoriais sobre suas assinaturas físicas, geoquímicas e mineralógicas.

O olhar somente para essa seção lateral não se mostrou suficiente para sua compreensão sob a perspectiva geomorfológica. Portanto, as investigações foram ampliadas para as demais coberturas na bacia do córrego Sujo. Devido às dimensões regionais para se investigar esses materiais, e a impossibilidade de se

realizar análises detalhadas tanto quanto aquelas realizadas para a seção lateral, essas demais coberturas foram investigadas, sobretudo, por suas distribuições espaciais, posicionamento topográfico e suas caracterizações morfológicas.

Notadamente, a perspectiva regional também possuiu resultados não completamente conclusivos em si, tal como na perspectiva apenas local. Entretanto, os resultados obtidos em ambas as escalas puderam se complementar e resultar em uma possibilidade de se reconstituir um quebra-cabeça evolutivo que possuísse coerência entre os vários componentes investigados. Nesse contexto, portanto, houve a possibilidade de se realizar uma síntese geral para cada escala abordada.

Ainda que tenha sido possível atribuir significados geomorfológicos, e a apresentação de possibilidades de diálogos entre suas múltiplas escalas, os modelos sintetizados nesta pesquisa, tais como os demais presentes na literatura, são passíveis de serem contestados/alterados/seguidos. Assim como foi necessário buscar fundamentos teórico-conceituais que verssem sobre a superfície terrestre, também foram apreendidas concepções sobre os propósitos de uma pesquisa científica. Nesse aspecto, o que foi apresentado neste trabalho representa uma maneira de como o indivíduo apreendeu sobre seus materiais investigados, seus propósitos, concepções e tantos outros filtros operativos conforme explanados por Paulet (2002) e Nakao (2005), no Capítulo 2. Conclui-se, portanto, que esta pesquisa representa mais uma contribuição dentre as demais, que, pouco a pouco, edificam o pensar científico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AB'SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas** v.3 São Paulo, GEO/ USP, 1977.
- AB'SÁBER, A.N. Um conceito de geomorfologia a serviços das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v.18, p.1-23, 1969.
- AB'SABER, A.N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos inhumados do Brasil Oriental. **Boletim da Universidade do Paraná**, Geografia Física, v.2, p.1-32, 1962.
- AUBERT, G.; SEGALIN, P. Projet de classification des sols ferrallitiques. **Cahiers ORSTOM-Pédologie IV**, 4, p. 97-112, 1966.
- BARROS, P.H.C.A. **Controvérsias Geomorfológicas: dialética entre teoria e produção do conhecimento – As múltiplas perspectivas do pensar e fazer geomorfologia**. 2013. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- BERTOLINI, W.Z.; da COSTA, I.M.; de LIMA, G.L. Morfoscopia e morfologia da cobertura pedológica às margens do rio Uruguai no oeste de Santa Catarina. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. v.39, n.3, p.71-78, 2016.
- BIGARELLA, J.J.; HARTKOPF, C.C.; SOBANSKI, A.; TREVISAN, N. Textura superficial dos grãos em areias e arenitos. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 10, p.253-275, 1955.
- BLOTT, S.J.; PYE, K. Particle shape: a review and new methos of characterization and classification. **Sedimentology**, v.55, p.31-63, 2008.
- BOULET, R., LUCAS, Y., FRITSCH, E. ; PAQUET, H. **Géochimie des paysages: le rôle des couvertures pédologiques**. In: COLL. "SÉDIMENTOLOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SURFACE" À LA MÉMOIRE DE GEORGES MILLOT, Académie des Sciences et du CADAS. p.55-76. 1993.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 Ed. Porto Alegre: Bookman, 716p. 2013.
- BÜCHI, A. **Mapeamento geológico (1 :25.000), neotectônica e georecursos da região de Vespasiano e São José da Lapa (MG)**. 2008, 74 f. Trabalho Geológico (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- CAILLEAUX, A.; TRICART, J. **Initiation à l'étude des sables et galets**. CDU, 5 pi. De la Sorbonne, Paris, v.1, 369p., 1963.
- CAMPY, M. ; MACAIRE, J.J. **Géologie des formations superficielles**. Paris: Masson, 433p. 1989.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <[www.funape.org.br/geomorfologia/](http://www.funape.org.br/geomorfologia/)>. Acesso em: 21 set. 2015.
- CASTRO, S.S. Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas. Unicamp e UFG, 143p. 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher Ltda. 256p. 1999.

CHRISTOFOLLETI, A. **Geomorfologia**. Edgard Blücher: São Paulo, 1980.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Zoneamento ambiental Apa Carste de Lagoa Santa**. Belo Horizonte, 1998.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG); COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Escala 1:100.000, 2007.

COX, E.A. A method for assigning numerical and percentage values to the degree of roundness of sand grains. **Journal of Paleontology**. v.1, n.3, p.179-183, 1927.

DAVIS, W.M. The geographical cycle. **The Geographical Journal**. v.14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DE HEINZELIN, J. Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. - **Publications de l'INÉAC sér. sc.**, 64, 37 p., 1955.

DEWOLF, Y. **Intérêt et principes d'une cartographie des formatios superficielles**. Caen, publ. De la Fac. De Lettres et Sciences Humaines, 14 Ng., 8 cartes h.t. en couleurs, 183p., 1965.

DIAS, J.A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos**, 2014. E-book disponível online em: <[http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino\\_Dias\\_Analise%20Sedimentar%20Sistemas%20Marinhos\\_2004.pdf](http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino_Dias_Analise%20Sedimentar%20Sistemas%20Marinhos_2004.pdf)>. Acesso em: 08 Jan. 2017.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 230p. 2011.

ESPÍNDOLA, C.R. A pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**. v.31, n.1/2, p.67-92, 2010.

FETT JÚNIOR, N. **Aloestratigrafia e evolução do relevo do Pleistoceno Médio ao Holoceno no médio curso do rio Pardo, região centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2011. 467 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011

GALVÃO, P.; HIRATA, R.; CORDEIRO, A.; BARBATI, D.; PEÑARANDA, J. Geologic conceptual modelo f the municipality of Sete Lagoas (MG, Brazil) and the surroundings. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.88, n.1, p.35-53, 2016.

GOMES, M.C.A.; HOLTEN, B.; STERLL, M. **A canção das palmeiras: Eugenius Warming, um jovem botânico no Brasil**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais. Coleção Mineiriana. 243p. 2006.

GRAHAN, J. Collection and analysis of field data. In: TUCKER, M. **Techniques in Sedimentology**. Oxford: Editora Blackwell Scientific Publications, Cap. 2, p.5-62. 1988.

GUPTA, A. **Tropical geomorphology**. Cambridge University Press, 409 f. 2011.

GUY, B. **Contradições no pensar e no espaço, o tempo e o movimento**. CETRANS, Centro de Educação Transdisciplinar. p.1-6, 2009. Disponível em: <<http://www.emse.fr/aslc2009>>. Acesso em: 15 abr. 2017.



HASUI, Y. Quadro geral da evolução pré-ordoviciana: a conexão Brasil-África. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Editora Beca, Cap. 8, p.123-130, 2012.

HIRUMA, S.T. Revisão dos conhecimentos sobre o significado das linhas de seixos. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.27-28, n.1/2, p. 53-64, 2007.

HOFFMAN, M. **GIS-based Analysis of Geo-Potentials for a Tropical Metropolitan Area: the Northern Periphery of Belo Horizonte (Minas Gerais, Brazil)**. Tese de doutorado, TU Darmstadt, 333p, 2014. Disponível em: <<http://tuprints.ulb.tudarmstadt.de/4152>> URN:urn:nbn:de:tudatuprints-41522>. Acesso em: 10 out. 2016.

IMAGEJ. Software disponível em: <<https://imagej.nih.gov/ij/docs/menus/analyze.html#set>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C.; HERRERA, I.L.I.E. Crostas lateríticas e nomenclaturas cartográficas adotadas em mapas geológicos e geomorfológicos no Brasil. **Serviço Geológico do Brasil em revista**, meio digital, v.1, n.1, 2016. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/view/56023547/revista-servico-geologico>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

JARAMILLO, D.F.F. **Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia**. Facultad de Ciencias: Medellín, 619p., 2002. Disponível em: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

JOLY, F. La cartographie des formations superficielles, d'après Yvette Dewolf. **Annales de Géographie**, v.76, n.413, p.78-79, 1967.

JONHSON, W.M. The Pedon and the Polypedon. **Soil Science Society of America Journal**. v.27, n.2, p.212-215, 1962.

JUNQUEIRA, P.A. **Geologia do depósito de ouro da mina de Raposos, Quadrilátero Ferrífero com ênfase na alteração hidrotermal**. 1997, 172f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

KING, L.C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.147-265, 1956.

KOHLER, H.C. Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa- MG. 1989. 113 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

LACERDA, W.A. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. **Geomorphology**, v.87, n.3, p.104-119, 2007.

LAMOUREUX, M. **Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban**. Thèse Sc., Strasbourg et Mém. ORSTOM, n.56, 266p., 1972.

LANARI, C.U. Ossadas humanas fósseis encontradas numa caverna calcarea das vizinhanças do Mocambeiro. **Annaes da Escola de Minas**, Ouro Preto, n.11, p.15-35, 1909.

LEBRET, P.; CAMPY, M.; COUTARD, J.P.; FOURNIGUET, J.; ISAMBERT, M.; LAUTRIDOU, J.P.; LAVILLE, P.; MACAIRE, J.J.; MÉNILLET, F.; MEYER, R. Cartographie des formations superficielles. Réactualisation des principes de représentation à 1/50 000. **Géologie de la France**, n.4, p.39-54, 1993.

LEONARDI, F.A. **O mapeamento, caracterização e datação de perfis lateríticos para a identificação e correlação de superfícies geomórficas: estudo de caso do Quadrilátero Ferrífero**. Tese, Doutorado em Análise ambiental e dinâmica territorial, Unicamp, São Paulo, 246f, 2014.

LUND, P.W. **Memórias sobre a paleontologia brasileira**. Traduzidas, revistas e comentadas Carlos de Paula Couto. Instituto Nacional do Livro: Rio de Janeiro, 589p. 1950.

MAGALHÃES JR., A.; SAADI, A. Ritmos da dinâmica fluvial neo-cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, v.2, n.1, p.42-54, 1994.

MATTOS, F.C.O.; SOUZA, C.J.O. Geomorfologia: uma discussão preliminar sobre as abordagens morfogênese e morfodinâmica e a geografia. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 16, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, v.1, p.1-12, 2010.

MELFI, A.J.; PEDRO, J. Estudo geoquímico e formações superficiais no Brasil. Parte1 - Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v.17, p. 271- 286. 1977.

MERRILL, G.P. **A treatise on rocks, rock weathering and soils**. Macmillan, New York, p.41, 1897. Disponível em: < <http://science.sciencemag.org/content/5/130/995/tab-pdf>>. Acesso em 9 nov. 2017.

MIALL, A.D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 582p, 1996.

MIORIN, V. M. F. Uma abordagem dialético-materialista para a organização do espaço. **Geografia**, Londrina, v. 6, p. 07-54, 1990.

MOURA, J.R.S.; MELLO, C.L. Classificação aloestratigráfica do Quaternário superior na região de Bananal (SP/RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v.12, n.3, p.236-254, 1991.

MUGGLER, C.C.; BUURMAN, P. Erosion, sedimentation and pedogenesis in a polygenetic oxisol sequence in Minas Gerais, Brazil. **CATENA** v.41 n.1-3, p.3-17, 2000.

MUNARI, B. **Design e comunicação visual: contribuição para uma metodologia didática**. Trad. Daniel Santana. 13 Ed. Lisboa: Edições 70, 324p., 2014.

NAKAO, J. **A costura do invisível**. São Paulo: SENAC-SP, 202p. 2005.

NASCIMENTO JÚNIOR, A.F. Fragmentos do pensamento dialético na história da construção das ciências da natureza. **Ciência & Educação**, v.6, n.2, p.119-139, 2000.

NOCE, C.M.; TEIXEIRA, W.; MACHADO, N. Geoquímica dos gnaisses TTGs e granitoides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v.27, p.25-32, 1997.

PAULET, J.P. **Les représentations mentales em géographie**. Oaris, Anthrops, coll. Géographie. 152p. 2002.

PENTEADO, M.M. Novas informações a respeito dos pavimentos detríticos (Stone lines). **Notícia Geomorfológica**, v.9, n.17, 1969.

PENTLAND, A. A method of measuring the angularity of sands. **Royal Society of Canada**. (ser. 3), .21, 1927.

PESSOA, P.F.P. **Hidrogeologia dos aquíferos cársticos cobertos de Lagoa Santa**, MG. 2005. 575 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

PILÓ, L.B. Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da Depressão Poligonal Macacos-Baú – Carste de Lagoa Santa, MG. 1998. 283 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

PFALTZGRAFF, P.A.D.; FERREIRA, R.V. **Cartografia das formações superficiais na região metropolitana de Recife**. In: ABEQUA: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, p.1-5, 2005.

PORTUGAL, C.A. Discussão sobre empirismo e racionalismo no problema da origem do conhecimento. **Diálogos & Ciência**, v.1, n.1, 2002.

QUEIROZ, G.L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E.R. Azimuthfinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural. **Geol.USP, Sér.cient.** v.14, n.1, p.69-80, 2014.

QUEIROZ-NETO, J.P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**. v.5, p.77-90, 2002.

QUEIROZ-NETO, J.P. La cartographie géomorphologique et pédologique dans l'Etat de São Paulo. **Bulletin de l'Association de géographes français**. n..373-374, 46<sup>e</sup> année, p. 485 - 497, 1969.

QUEIROZ-NETO, J.P. O estudo das formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.22 n. 1\2, p.65-78, 2001.

QUEIROZ-NETO. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. In: SEMINÁRIO LATINO/ÍBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6,2, 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra, p.1-19, 2010.

RIBEIRO, C.M. **O clima do planalto de Lagoa Santa. Belo Horizonte. Estudos ambientais e propostas de manejo na região de lagoa Santa-MG**. Fundep. 28p. 1994.

RIBEIRO, S.; BONETTI, C. Variabilidade morfométrica de sedimentos arenosos: revisão de métodos e uso do software ImageJ na diferenciação de ambientes deposicionais na Ilha de Santa Catarina e região continental, SC, Brasil. **Gravel**, v.11, n.1, p.37-47, 2013.

RIOU, G. **L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux**. Paris: Collection géographie, 222p. 1990.

RHOADS, B. L.; THORN, C. E. Geomorphology as science: the role of theory, **Geomorphology**, v.6, p. 287-307. 1993.

RODET, J. The primokarst, former stages of karstification, or how solution caves can born, **Geologica Belgica**, 17/1, p. 58-65, 2014.

RODRIGUES, D. Peter Lund: entre o mito e a história. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v.20, supl. P. 1427-1429, 2013.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. Belo Horizonte, tese professor titular, Departamento de Geografia, UFMG, 285p. 1991.

SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares. **Geonomos**, v.1, n.1, p.1-15, 1993.

SAMPAIO, T.V.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.1, p. 47-60, 2014.

SANTOS, H. G.dos ; JACOMINE, P. K. T. ; ANJOS, L. H. C. ; Virlei Álvaro de Oliveira ; LUMBRERAS, J. F. ; COELHO, M. R. ; Almeida, J. A. de ; CUNHA, T. J. F. ; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: SCT-ENBRAPA, v. 2000. 353p. 2013.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SANTOS, L.J.C.; SALGADO, A.A.R.; RAKSSA, M.L.; MARENT, B.R. Gênese das linhas de pedras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.11, n.2, p.103-108, 2010.

SCHAEFER, C.E.R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, v.39, p.909-926, 2001.

SEGALEN, P. Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique. Cah. Orstom, ser. **Pedologie**, v.7, n.1, p.113-131, 1969.

SHINZATO, E. **O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos**. 1998, 100 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 1998.

SHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A. A evolução da Plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: SHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. coords. **Geologia do Brasil**. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:2.500.000, Brasília: DNPM, p.9-53, 1984.

SHOBBENHAUS, C.; NEVES, B.B.B. A geologia do Brasil no context da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L.A.; SHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (eds.) **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

SIMÕES, P.M.L.; VALADÃO, R.C.; OLIVEIRA, C.V.; OLIVEIRA, F.S.; SANTOS, P. Distribuição espacial de formações superficiais geneticamente associadas a rochas siliciclásticas - Planalto do Espinhaço Meridional (MG) - Brasil. **Sociedade & Natureza**, v.28, n.1, p.161-170, 2016.

SOUZA, M.L. **Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial**. 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 320p. 2015.

SUGUIO, K., **Introdução a sedimentologia**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317 p. 1973.

SUERTEGARAY, D.M.A. Pesquisa de campo em Geografia. **GEOgraphia**, v.4,n.7. 2002a.

SUERTEGARAY, D.M. A. Tempos Longos... Tempos Curtos... Na Análise da Natureza. **Geografares**, n. 3; p. 159-163, 2002b.

TAMURA, T A note on stone-lines, sci. **Rep. tohoku univ. (geogr)**, v.25, p.197-207, 1975

THOMAS, M.F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. John Wiley and Sons Ltd: Chichester, England, 460p. 1994.

TRICART, J. Les caractéristiques fondamentales du système morfo-génétique des pays tropicaux humides. **L'informatio géographique**, v.25, n.4, p.155-169, 1961.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 175p., 1987.

VALADÃO, R. C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil oriental (desnudação, superfícies de aplanamento e soerguimentos crustais)**. 1998, 243f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

VASCONCELOS, A.M.C. **O criptocarste como interface entre o solo e o substrato rochoso: comparação entre os ambientes siliciclásticos e o carbonático na região entre Rodeador e Diamantina - MG**. 2014. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia e Análise Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VITTE, A. C. A Construção da Geomorfologia Brasileira: as transformações paradigmáticas e o estudo do relevo. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v.12, n.2, p.44-54, 2008.

VOGT, J. A - Le complexe de la stone-line. Mise au point. In: Terrains d'alteration et de recouvrement en zone intertropical (Vogt, J. & Vincent, P.L.). **Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières**, n.4, p. 3-49, 1966.