

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Caracterização Ambiental com Ênfase em Solos no
Flanco Norte do Vulcão Cotopaxi, Equador**

Alexandre Muselli Barbosa

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL COM ÊNFASE EM SOLOS NO
FLANCO NORTE DO VULCÃO COTOPAXI, EQUADOR

ALEXANDRE MUSELLI BARBOSA

Sob a Orientação do Professor
Márcio Rocha Francelino

e Co-orientação do Professor
Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2012

552.20986614

B238c

T

Barbosa, Alexandre Muselli, 1983-

Caracterização ambiental com ênfase em solos no Flanco Norte do Vulcão Cotopaxi, Equador / Alexandre Muselli Barbosa – 2012.

119f. : il.

Orientador: Márcio Rocha Francelino.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 78-83.

1. Solos vulcânicos – Equador – Teses. 2. Cotopaxi, vulcão (Equador) – Teses. 3. Solos vulcânicos – Equador – Aspectos ambientais – Teses. I. Francelino, Márcio Rocha, 1966-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

ALEXANDRE MUSELLI BARBOSA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/02/2012

Márcio Rocha Francelino. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Ana Paula Dias Turetta. Dra EMBRAPA Solos

Thaís de Andrade Corrêa Neto. Dra UFRRJ

A minha mãe, meu pai e meus sobrinhos

Dedico.

A minha noiva Evelyn

Pelo incansável apoio e paciência

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Antes de agradecer, tenho que pedir desculpas a minha família, por ter sido tão ausente nos últimos anos, não estando ao lado do meu pai quando minha mãe ficou doente, nem de minha mãe, quando meu pai teve que ser ausentar por alguns meses. Não pude abraçar meu pai, nem dar a mão a minha mãe, me desculpem por tudo. Não tenho sido bom filho, bom irmão e tão pouco, um bom tio.

Agradeço aos meus pais (Airton e Maricy) por me ensinarem que o bem e o mal existem, mas que são apenas uma questão de ponto de vista, e que cabe a mim, avaliar qual caminho seguir. Agradeço por toda a força, as horas de conversas, por todas as brigas e as comidas gostosas (principalmente os pavês) nas poucas vezes que voltei para casa.

A minha maior amiga, namorada, companheira, conselheira e cúmplice Preta (Evelyn), por toda a compreensão, ajuda, brigas e tudo mais, sua força tem sido fundamental nos últimos tempos, e este trabalho só foi possível por causa de seus conselhos. Te amo.

Ao meu grande amigo Roginho (Lambert, MSc), companheiro de ensino médio e cursinho, de algumas bagunças. Obrigado por ter feito minha inscrição para o vestibular da UFRRJ, sem isso eu não teria feito a prova, não seria um Eng. Agrônomo, nem mestre.

A todos meus irmãos do alojamento M6 primeiro andar, Gordinho (Arturo), Paulista (Antônio), Matos (Eder), Vader (Darci), Cabeça (Fábio), Cheiroso (Yuri), Neguinho (João Vitor). Foram muitos dias, muitos almoços, jantadas, festas, jogos, bagunça, dificuldades e algumas aulas e provas. Nunca vou me esquecer do quarto 608 e seus anexos.

A UFRRJ, a todos os professores e funcionários que mantém esta universidade. Estudar nela é uma lição para toda a vida. Ao Dept.de solos, Prof. Zonta e sua equipe, a Prof.^a Lucia Helena, que foi como uma segunda orientadora durante esse trabalho, e todos os outros professores, que mantém o curso em um alto nível, formando ótimos profissionais. Agradeço a oportunidade de me graduar e pela oportunidade de concluir um curso de Pós-Graduação.

Ao laboratório Geoflora e toda sua equipe, principalmente a equipe que participou dos trabalhos de campo, muito obrigado. Ao Prof. Márcio pela amizade, oportunidade e ensinamentos.

Ao Prof. Sérgio Valente do Dept. de Geologia da UFRRJ, pela ajuda e apoio, mesmo sem me conhecer, foi muito solícito e se ofereceu sem pedir nada em troca, sendo suas explicações de grande valia para este trabalho, muito obrigado.

Aos pesquisadores da Embrapa Solos, Cesão (Chargas), Waldir (Carvalho Júnior), Nilsão (Pereira), Silvinho (Bhering), Fabiano (grande companheiro de campo) e a equipe do núcleo de geoprocessamento. Agradeço por todos os ensinamentos, oportunidades e principalmente pela amizade, obrigado.

Aos integrantes da banca, agradeço pelo comprometimento, sugestões, pela colaboração neste trabalho e principalmente por aceitarem o convite com um prazo curto, muito obrigado Dra. Turetta e Dra. Corrêa Neto.

A CAPES e à FAPERJ pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

BARBOSA, Alexandre Muselli. **Caracterização Ambiental com Ênfase em Solos no Flanco Norte do Vulcão Cotopaxi, Equador**. 2012. 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

O objetivo deste trabalho foi realizar o estudo ambiental do flanco norte do vulcão Cotopaxi, Equador, com o enfoque da ação dos processos intempéricos e climáticos na formação dos solos e processos criopedogênicos, em um transecto variando entre 3.979 a 4.885m de altitude. Para o estudo foi realizado o levantamento e zoneamento vegetal; análise geomorfológica digital, composta por elevação, declividade, curvatura, face de exposição e radiação; estudo geológico; monitoramento das temperaturas em cinco profundidades do solo e do ar em três pontos de elevação diferentes; descrição e coleta de seis perfis representativos, de acordo com a variação de vegetação, topografia, presença de neve e elevação; e avaliação da composição do solo, através de análises petrográficas, mineralógicas, físicas e químicas dos solos. A vegetação que recobre a encosta é o Páramo, variando de porte de acordo com a elevação e o aumento das camadas de gelo sobre o solo, sendo este presente até os 4.885m, e a biota é representada por organismos extremófilos. A geologia do Vulcão Cotopaxi é complexa devido a recentes atividades vulcânicas, sendo o material expelido Riólito-Andesito, comprovadas pelas análises petrográficas, com grandes deposições de tephra, e área de deposições de corrida de detritos. A geomorfologia é característica de estrato vulcões, formações cônicas e simétricas, com base ampla e declive suave, indo a cumes com elevada altitude e grandes declividades, suas encostas são repletas de sistemas de drenagem e feições erosivas, e nas porções mais baixas ocorrem depósitos sedimentares de origem periglacial. As temperaturas registradas mostraram que o solo se mantém em níveis mais elevados que a temperatura do ar para as três elevações, mesmo nos sistemas que apresentam cobertura de gelo, mostrando que o solo possui propriedades de isolamento térmico. Os solos são estratificados, com camadas intercaladas de cinza e lapilli, pedregosos, com textura predominantemente grosseira e baixo conteúdo de argila. As análises mineralógicas apontaram a presença de minerais facilmente intemperizáveis, como apatita, as olivinas, os piroxênios e os feldspatos. Os minerais encontrados refletem nos dados químicos dos solos, com teores elevados dos elementos de Na, P e K, além dos altos teores de Fe, pelo material de origem de mineral ferromagnésiano. Os seis perfis descritos foram identificados em dois sistemas de classificação de solos, o WRB da FAO e o *Soil Taxonomy* do USDA. Sendo para o WRB, três solos classificados como Regosols, dois Leptosols e um Cryosol. No *Soil Taxonomy*, três solos são Inceptisols, dois Entisols e um Gelisol. A presença de textura grosseira e rochas vesiculadas, juntamente com a grande presença de minerais facilmente intemperizáveis, evidenciam o predomínio do intemperismo físico sobre o químico na alteração do material de origem do Vulcão Cotopaxi. Este fato resulta no fraco desenvolvimento dos solos, também influenciado pelo clima, tipo de vegetação e as recentes deposições de material pela atividade vulcânica. Como os registros de temperatura do solo foram de apenas um ano, não é possível determinar a sua dinâmica térmica, sendo necessária a continuidade do monitoramento para a obtenção de dados com maior duração de tempo.

Palavras-chave: Andes. Estratovulcão. Tephra. Páramo. Solos Vulcânicos.

ABSTRACT

BARBOSA, Alexandre Muselli. **Environmental characterization with emphasis on soils in the North flank of the Cotopaxi volcano, Ecuador.**2012. 119p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

The objective of this work was the environmental study of the northern flank of the volcano Cotopaxi, Ecuador, with the focus on the acting of weathering processes and climate in the soil formation processes and cryopedogenesis, in a transect ranging from 3979 to 4885m. For the study a survey and zoning of the vegetation was conducted; digital geomorphologic analysis, consisting of elevation, slope, curvature, illumination and radiation exposure, geological study, monitoring of temperatures of air and at five soil depths, in three different elevation points; description and collection of six representative soil profiles, according to the variation of vegetation, topography, presence of snow and elevation; and evaluation of soil composition through analysis of petrographic, mineralogical, physical and chemical properties of soils. The vegetation covering the slope is the Páramo, varying in size according to elevation and increasing of ice sheets over the soil, which occurs up to 4885 m, and the biota is represented by extremophile organisms. The geology of the Cotopaxi volcano is complex due to the recent volcanic activity, where the ejected material is of Andesite-rhyolite, as identified by the petrography, with large deposits of tephra, and an area of debris deposition. The geomorphology is characteristic of a stratovolcano, with conical and symmetric formations, with broad base and gentle slope, headed for a peak with high altitude and slopes, the slopes are full of drainage systems and erosional features, and in the lower portions of the landscape there are sedimentary deposits of periglacial origin. The registered temperatures showed that the soil are kept warmer than the air temperature for the three elevations, even in the systems that present ice coverage, showing that the soil has thermal insulation properties. The soils are stratified, with layers of ash and lapilli interspersed, with pumices, predominantly coarse texture and low clay content. The mineralogical analyzes indicated the presence of easily weathered minerals such as apatite, olivine, pyroxenes and feldspars. The minerals found influence in the soil chemical data, with high levels of Na, P and K, and the large amounts of Fe, from the ferromagnesian minerals in the parent material. The six profiles described were identified into two systems of soil classification, the WRB - FAO and the USDA - Soils Taxonomy. As for the WRB, three soils were classified as Regosols, two as Leptosols, and one as Cryosol. In the Soil Taxonomy, three were classified as Inceptisols, two as Entisols and one as Gelisol. The coarse texture and presence of pumice material, together with the large presence of easily weathered minerals, show the dominance of physical weathering over chemical reactions in the alteration of parent material of the Cotopaxi volcano. This fact results in poor soil development, also influenced by the climate, type of vegetation, and the recent deposition of material from the volcanic activity. Since the data of soil temperature was only of one year, it is not possible to determine the soil thermal dynamics, requiring continuing the monitoring to acquire data on a longer time scale.

Key words: Andes.Stratovolcano.Tephra.Páramo. Volcanic Soils.

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer;</i>
ANM	Acima do Nível do Mar;
Ap	Apatita;
Bi	Biotita;
Ct	Clorita;
DGPS	<i>Diferencial Global Positioning System;</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
FAO	<i>Food and Agriculture Organization;</i>
Fd	Feldspato;
Hb	Hornblenda;
IEV	Índice de Explosividade Vulcânica;
IGM	<i>Instituto Geográfico Militar del Ecuador;</i>
ISNA	Índice de Saturação de Sódio;
KFd	K-Feldspato;
m	Índice de Saturação de Alumínio;
Ma	Milhões de anos;
MDE	Modelo Digital de Elevação;
Mt	Magnetita;
NaHMP	Hexametafosfato de sódio;
NaOH	Hidróxido de sódio;
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration;</i>
NC//	Nicol Paralelo;
NCX	Nicol cruzado;
OPX	Orto-Piroxênio;
Ov	Olivina;
PNC	Parque Nacional Cotopaxi;
Pg	Plagioclásio;
Px	Piroxênio;
Qz	Quartzo;
SB	Soma de Bases Trocáveis;
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission;</i>
T	Capacidade de Troca Catiônica;
t	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva;
TMAA	Temperaturas Média Anual do Ar;
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro;
UFV	Universidade Federal de Viçosa;
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization;</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista;
USDA	<i>United States Department of Agriculture;</i>
USGS	<i>United States Geological Survey;</i>
V	Índice de Saturação de Bases;
WRB	<i>World Reference Base for Soil Resources;</i>
ZNA	Zona Vulcânica Austral;
ZNC	Zona Vulcânica Central;
ZVN	Zona Vulcânica Norte;
ZVS	Zona Vulcânica Sul.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solo com padrão (patterned ground), evidenciando processo de crioturbação (Foto: FRANCELINO, M. R.).....	3
Figura 2. Mapa da América do sul: Importantes Regiões Criogênicas e Temperatura Média Anual do Ar. Preto TMAA entre -5 e 0°C, Cinzas >5°C (Adaptado de TROMBOTTO, 2000).	6
Figura 3. As linhas mostram o recuo da posição das geleiras de Qori Kalis, Andes Peruanos entre 1963-2005 (Adaptado de THOMPSON et al., 2006).....	8
Figura 4. Vulcão Cotopaxi, Equador.....	10
Figura 5. Mapa Hidrológico do Vulcão Cotopaxi (Adaptado de MOTHEs, 2005).	10
Figura 6. (a) Estabelecimento de Geodinâmica do arco do Equador, incluindo as principais características oceânicas, as setas pretas indicam o avanço da placa subductada, triângulos brancos representam os vulcões. (b) Arco vulcânico Equatoriano. Nomes dos principais elementos que o compõe: Mojanda-Fuya Fuya (1); Pichincha (2); Chimborazo (3); Cayambe (4); El Reventador (5); Antisana (6); Sumaco (7); Chalupas caldeira (8); Cotopaxi (9); Tungurahua (10); Sangay (11). (Adaptado de SAMANIEGO et al., 2005).....	11
Figura 7. Mapa Geológico do Vulcão Cotopaxi (Adaptado de HALL et al., 2005).	12
Figura 8. Mural encontrado na cidade de Latacunga, Nuestra señora de la Merced - Nuestra Señora del Volcán y Cerro de Cotopaxi.....	14
Figura 9. Esquema de um estrato vulcão típico e seus eventos durante uma erupção (USGS, 2008).	14
Figura 10. Sequência estratigráfica típica e vegetação estabilizada, encontrados na área do Vulcão Cotopaxi, corte de estrada com cota aproximada de 4.700m ANM (Foto: CORREA, G. R.).....	17
Figura 11. Mapa de vegetação do Parque Nacional Cotopaxi (Adaptado de BELTRÁN et al., 2009)	19
Figura 12. Série histórica de precipitação coletada na estação Cotopaxi-Refúgio (4800m) entre 1978-1983 (Adaptado de INAMHI, 2010).....	20
Figura 13. Mapa do Parque Nacional Cotopaxi, Equador (Adaptado de MAE, 2010).....	21
Figura 14. Deslocamento e transporte de equipamento ao longo da área selecionada, flanco norte da encosta do Vulcão Cotopaxi (Foto: ADNET, P.).....	22
Figura 15. Perfil topográfico do flanco norte do vulcão Cotopaxi e a distribuição dos pontos amostrais ao longo da encosta.....	23
Figura 16. Aspecto geral do terço médio-superior do flanco norte do Vulcão Cotopaxi.....	24
Figura 17. Descrição de perfil e coleta de amostras em trincheira (Foto: ADNET, P.).....	24
Figura 18. Modelo da encosta do Vulcão Cotopaxi (flanco norte), exemplificando a variação da vegetação ao longo do flanco norte, os limites de elevação e os pontos de coleta. ...	29
Figura 19. Espécies encontradas entre 3900 e 4400m ANM, nos sítios CTX-03 e CTX-04..	30
Figura 20. Linha de neve, evidenciando a divisória entre o Páramo Sub-Alpino e a Tundra alpina, abaixo e acima da linha de neve respectivamente.....	30

Figura 21. Espécies encontradas entre 4400 e 4700m, nos sítios CTX-02 e CTX-06, adaptadas para resistir às condições impostas pelo ambiente.	31
Figura 22. Linha divisória entre a área permanentemente coberta de gelo e a área de Tundra alpina, onde a linha de neve das áreas permanentemente congeladas possuem sazonalidade dependente dos fatores climáticos.	31
Figura 23. Organismo extremófilos encontrados no sitio CTX-01, acima dos 4850m, sendo a <i>Blakiella</i> ssp. uma espécie endêmica.	32
Figura 24. Aspecto geral do ambiente onde localizados os organismos extremófilos.	32
Figura 25. Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido através da interpolação dos dados do IGM e SRTM.	33
Figura 26. Modelo Digital de Elevação (MDE), e perfil topográfico com a distribuição dos pontos amostrais.	34
Figura 27. Mapa de classes de declividade do Parque Nacional Cotopaxi, segundo FAO (2009).	35
Figura 28. Mapa de faces de orientação do Parque Nacional Cotopaxi.	36
Figura 29. Mapa de classes de curvatura da área do Parque Nacional Cotopaxi.	37
Figura 30. Mapa de radiação da área do Parque Nacional Cotopaxi.	37
Figura 31. A – Fenocristal de orto-piroxênio (OPX) com bordas alteradas por oxidação, Nicol paralelo (NC//); B- Fenocristais de plagioclásio (Pg), zonado sem evidência de alteração, Nicol cruzado (NCX).	41
Figura 32. A- Matriz granular muito fina com fenocristais de Pg alinhados, caracterizando derrame efusivo, NCX; B - Grãos de apatita (Ap), hexagonais e prismáticos na matriz da rocha, NC//.	42
Figura 33. A - Cristaloclastos pouco fragmentados de Pg e Px com vesículas de diferentes formas e tamanhos (vs), NC//; B - Superfície de contato entre as duas lavas, uma félsica, com coloração clara e uma máfica, de coloração escura, NC//.	42
Figura 34. A - Contato entre o cumulado e a porção vesiculada e mais fragmentada, processos intempéricos caracterizados pela coloração de tons alaranjados (ferruginoso), NC; B - Fenocristal de feldspato zonado (Fd), NCX.	42
Figura 35. Difratoograma de raio X da fração silte do Perfil CTX 01. Minerais: Fd= Feldspato, KFd= K-Feldspato, Pg= Plagioclásio, Bi= Biotita, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov= Olivina e Qz= Quartzo.	43
Figura 36. Comparação dos difratogramas de raio X da fração silte entre os perfis e os minerais encontrados. Minerais: Ct= Clorita, Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Qz= Quartzo, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina.	44
Figura 37. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte 2C2 do Perfil CTX 02. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.	45
Figura 38. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte C2 do Perfil CTX 03. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.	46
Figura 39. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte 3A3 do Perfil CTX 04. Minerais: Ct= Clorita, Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina, Bi= Biotita e Qz= Quartzo.	46

Figura 40. Difratoograma de raio X da fração argila dos horizontes 3A3 e 3C1 do Perfil CTX 04. Minerais: Ct= Clorita, It= Ilita, Hb= Hornblenda, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato e Qz= Quartzo.....	47
Figura 41. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte C3 do Perfil CTX 05. Minerais: Ct= Clorita, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Fd= Feldspato, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.	47
Figura 42. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte 2C3 do Perfil CTX 06. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.	48
Figura 43. Difratoograma de raio X da fração argila do horizonte C1 do Perfil CTX 06. Minerais: Ct= Clorita, It= Ilita, Hb= Hornblenda, Pg= Plagioclásio e KFd= K-Feldspato.	48
Figura 44. Difratoograma de raio-X para os perfis localizados sob Neve (N), cerca de 4890m. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov= Olivina e Qz= Quartzo.	49
Figura 45. Difratoograma de raio-X para os perfis localizados sob a Tundra Pluvial Alpina (TpA), entre 4400 e 4700m. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.....	50
Figura 46. Difratoograma de raio-X para os perfis localizados sob o Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA), entre 3900 e 4400m. Minerais: Ct= Clorita, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Fd= Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.	50
Figura 47. Correlações estratigráficas entre a sequência de tephra composto (A), coluna estratigráfica de depósitos de lahars (B) e perfil CTX – 03 (C), descrito durante os trabalhos de campo (Adaptado de PISTOLESI, 2008).....	56
Figura 48. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 1.	65
Figura 49. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 2.	66
Figura 50. Animais presentes na área do parque próximos (50m), do sitio 3.	67
Figura 51. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 3.	68
Figura 52. A) Mapa do recuo da geleira do setor norte de 1976 a 1997, mostrando os limites da geleira em 1976 (linha vermelha) e 1997 (linha azul). B) Contorno ligados intervalos de perda de gelo, os intervalos estão de acordo com o volume de gelo perdido, indo de 0 a 10m (azul claro), até 40 a 50m (azul escuro); círculos vermelhos mostrando os perfis descritos (Adaptado de JORDAN et al., 2005).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de <i>Permafrost</i> Andino e sua distribuição (Adaptado de TROMBOTTO, 2000).	5
Tabela 2. Tabela de Índice de Explosividade Vulcânica e suas definições (Adaptado de USGS, 2011).	15
Tabela 3. Síntese dos últimos 2000 anos de erupções do Cotopaxi, dividida em grandes períodos e os fenômenos produzidos (Adaptado de MOTHEs et al., 2004).	16
Tabela 4. Classes de declividade (Adaptado de FAO, 2009).	26
Tabela 5. Classificação das classes de declividade de sua ocorrência dentro da área de estudo.	34
Tabela 6. Valores médios e atributos do terreno obtidos através de análise geomorfológica digital.	38
Tabela 7. Composição geral das rochas do flanco norte do vulcão Cotopaxi (Adaptado de Garrison et al., 2011).	41
Tabela 8. Resultados das análises granulométricas com dispersão por hidróxido de sódio para os perfis descritos no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.	52
Tabela 9. Resultados das análises granulométricas com dispersão por hexametáfosfato de sódio para os perfis descritos no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.	53
Tabela 10. Classificação de classe textural a partir do tamanho de partícula (USDA, 2010). ..	55
Tabela 11. Atributos químicos dos perfis coletados no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.	58
Tabela 12. Resultados analíticos de metais pesado.	63
Tabela 13. Dados de temperatura registrados de 16/12/10 a 15/12/11 para o Sitio 1.	64
Tabela 14. Dados de temperatura registrados de 17/12/10 a 14/12/11 para o Sitio 2.	66
Tabela 15. Dados de temperatura registrados de 19/12/10 a 14/12/11 para o Sitio 3.	68
Tabela 16. Área de redução do glaciário do vulcão Cotopaxi entre 1976 e 1997 (Adaptado de JORDAN et al., 2005).	69
Tabela 17. Classificação dos perfis de acordo com o WRB.	72
Tabela 18. Classificação dos perfis de acordo com o <i>Soil Taxonomy</i>	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Ambientes Periglaciais e Processos Criogênicos	2
2.2 <i>Permafrost</i>	4
2.3 Camada Ativa	7
2.4 Alterações Climáticas e a Cordilheira Andina	7
2.5 Criosolos	8
2.6 Vulcão Cotopaxi - Caracterização Ambiental	9
2.6.1 Fisiografia.....	9
2.6.2 Geologia	10
2.6.3 Estudos geomorfológicos	18
2.6.4 Clima e vegetação.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Área de Estudo – Vulcão Cotopaxi	21
3.2 Distribuição das Tipologias Vegetais	22
3.3 Classificação dos Solos	22
3.4 Modelo Digital de Elevação (MDE).....	24
3.5 Mapeamento Geomorfológico	25
3.6 Análise Petrográfica	27
3.7 Análise Mineralógica.....	27
3.8 Análises Físicas e Químicas	27
3.9 Sistema de Coleta e Armazenamento dos Dados de Temperatura do Solo.....	28
3.10 Classificação dos Solos	28
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Vegetação	29
4.2 Geoforma da Área de Estudo	33
4.3 Análise Petrográfica	39
4.4 Análises Mineralógicas.....	43
4.5 Análises Físicas	51
4.6 Análises Químicas	57
4.7 Dados de Temperatura do Solo	64
4.8 Classificação dos Solos	71
4.8.1 <i>World Reference Base for Soil Resources</i> (FAO)	71
4.8.2 <i>Soil Taxonomy</i> (USDA).....	72
5.CONCLUSÕES	76
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
8. GLOSSÁRIO.....	84
9. ANEXO	112

1. INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas houve um aumento do interesse da comunidade científica sobre as mudanças observadas em diversas regiões do mundo. Existem diversas teorias sobre a origem destas mudanças. Algumas frentes apontam as interferências antrópicas como principal causa para a ocorrência das mudanças observadas, outra frente defende a teoria de que os fenômenos observados são oriundos de um ciclo natural do planeta. O que toda a comunidade concorda, é que o clima do planeta está em um processo de alteração e que são necessárias maiores pesquisas para compreender os presentes fenômenos.

Trabalhos recentes de diversos autores (MARK & SELTZER, 2005; THOMPSON et al. 2006; UNESCO, 2007; VUILLE et al. 2008; PEDUZZI et al. 2009), mostram que as presentes alterações climáticas vem modificando a temperatura dos ambientes e afetando a camada de gelo que cobre diversas montanhas ao redor no mundo. Esse fenômeno afeta diretamente os Criossolos, *Permafrost* e os processos de formação pedoambiental, influenciados principalmente por uma temperatura mais elevada e uma maior disponibilidade de água oriunda do derretimento do gelo.

As montanhas situadas em baixas latitudes com presença de gelo são ótimos sensores naturais, pois são sensíveis a qualquer tipo de alteração que afete o seu equilíbrio energético. O vulcão Cotopaxi localizado na cordilheira andina equatoriana é um ambiente que apresenta grande sensibilidade ambiental, por apresentar uma vegetação restrita e endêmica, uma camada de gelo que cobre permanentemente seu cume; e por ser um vulcão ativo com ocorrências recentes de deposições, sendo um ambiente propício para estudos de monitoramento das variações climáticas e formação do solo.

A Rede de Cooperação Sulamericana Terrantar, deu início as pesquisas sobre o comportamento da cordilheira andina diante das variações climáticas. Estando este trabalho inserido dentro do projeto de Registros de Transições Climáticas no Antropoceno, onde foram determinados seis locais ao longo da cordilheira andina (Colômbia, Equador, Peru, Bolívia, e dois na divisa entre Argentina e Chile), onde se realizarão os estudos e a montagem de sistemas de monitoramento de temperatura do solo e do ar.

Desta forma, este trabalho visa o estudo ambiental do flanco norte do Vulcão Cotopaxi, com ênfase em sua vegetação, extensão da cobertura de gelo e estudos dos solos quanto à ocorrência de Criossolos e de processos criopedogênicos, sua ação na pedogênese e influência do material vulcânico nos atributos químicos e físicos dos solos presentes ao longo da encosta do vulcão. Além da instalação de três sítios de monitoramento das temperaturas do solo e do ar, durante o período de dezembro de 2010 a dezembro de 2011.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ambientes Periglaciais e Processos Criogênicos

O termo criologia, trata da ciência que estuda os ambientes e a ecologia de regiões geladas (não necessariamente no círculo polar), sua respectiva natureza geológica, processos físico-químicos oriundos dos ciclos de congelamento-derretimento a as relações entre todos esses fenômenos e a vida humana (TROMBOTTO, 2000).

O termo periglacial foi introduzido por Von Lozinski em 1910, inicialmente para caracterizar processos climáticos e geomorfológicos em regiões próximas do Pleistoceno. Depois disto, este termo sofreu diversas revisões e não existe uma definição universalmente aceita. Alguns cientistas sugerem que o termo seja utilizado somente com base nas condições climáticas. Zeuner (1945) sugeriu que o termo fosse restringido a ambientes que apresentassem temperaturas médias anuais abaixo de -2°C .

Nestas regiões quando o solo, rocha ou material orgânico permanece com uma temperatura de 0°C ou menor por um período mínimo de dois anos, este recebe o nome de *permafrost*, não sendo este pré-requisito, mas ocorrendo praticamente em todo ambiente periglacial, de forma contínua ou não (FRENCH, 1976). French (1976) identificou quatro tipos de ambiente periglaciais:

- Climas árticos com grande sazonalidade, mas com pequena flutuação da temperatura diária.
- Climas continentais subártico com grande sazonalidade, mas pequena flutuação da temperatura diária.
- Climas alpinos em médias latitudes com grande sazonalidade e flutuação da temperatura diária.
- Outros climas amplamente distribuídos com pequena sazonalidade e flutuação da temperatura diária.

Essa última tipologia envolve as ilhas subárticas e áreas de grande elevação na América do Sul, mas precisamente a cordilheira andina. O somatório dos diferentes ambientes periglaciais equivale a 25% da superfície terrestre (GERRARD, 1992).

Desta forma, podemos entender como ambientes periglaciais, áreas onde os processos intempéricos são regidos pelos ciclos de congelamento-degelo, com a presença ou não de *permafrost*, atuando em regiões de elevada latitude e/ou altitude.

Esta condição em ambientes periglaciais propicia uma movimentação no solo e subsolo, gerando distúrbios em sua estrutura e causando a sua reorganização. Este processo criogênico pode ser apresentado de diversas formas, e alguns deles podem ser observados sobre a superfície do solo, como os solos com padrões (*patterned ground*) (VAN EVERDINGEN, 2005), como pode ser observado na Figura 1.



Figura 1. Solo com padrão (patterned ground), evidenciando processo de crioturbação (Foto: FRANCELINO, M. R.).

Trombotto (2000) relatou a presença de alguns processos criogênicos na região andina, estes são definidos a seguir:

a) Crioturbação

Este processo está ligado a uma série de mecanismos, todos estes relacionados a ciclos de congelamento/degelo, com destaque para o arredondamento de agregados por estresse mecânico/hídrico e rotação devido às diferentes respostas da massa do solo ao congelamento; lenta translocação de sedimentos contra a gravidade ao longo de fissuras; translocação de partículas e incorporação à estrutura do solo por processos de estresse (MICHEL, 2005). Este processo ocorre devido a diferentes composições dos horizontes do solo, presença de material orgânico e rochoso. Estas evidenciam a crioturbação, sendo utilizadas para registrar antiga presença de *permafrost*. (BOCKHEIM & TARNOCAI, 1998).

b) Solifluxão

Solifluxão é definida como o movimento lateral de massa do solo, ocasionada pelo degelo de uma massa fracamente consolidada. Este processo é o resultado da ação conjugada da crioturbação e da gelifluxão.

A gelifluxão (frost creep) é o movimento de massa da camada ativa associadas aos planos de escorregamento. Esta é descrita como expansão vertical do solo, durante o descongelamento devido ao aumento da umidade e está associada a impedimentos de drenagem de solos congelados ou ao excesso de umidade proveniente do descongelamento de lente de gelo (OSTROUMOV, 1998).

O movimento da camada ativa está relacionado ao impedimento da drenagem vertical e a camada pouco abrasiva rica em gelo fornecida pelo *permafrost*. A intensidade do processo de solifluxão é controlada por diversos fatores, com maior ou menos expressão dependendo da geofoma, do substrato e dos ciclos de congelamento/degelo (MICHEL, 2005).

c) Criointemperismo

Este é definido como o processo físico-químico de desintegração ou fracionamento da rocha gerado pela ação das diferentes forças de pressão do gelo (*frost wedging*) combinada com os diferentes processos químicos causados pela presença da água (HARRIS et al., 1988).

d) Crioplanação

É o processo onde ocorre desgaste sobre as superfícies que estão sob condições de clima frio. Os terraços provenientes de crioplanação podem ocorrer tanto em posições de meia encostas, quanto em condições de topo de declives, assim como em outras posições onde não se tem presente um controle estrutural.

Este processo é encontrado mais frequentemente em áreas periglaciais que apresentam condições de moderada aridez. Como essas áreas geralmente estão sobre *permafrost*, estes terraços crioplanados são considerados como uma forma de diagnosticar a presença de *permafrost* no terreno (HARRIS et al., 1988).

2.2 Permafrost

Permafrost é definido pela presença de camada no solo e/ou seus componentes, que se encontra a temperaturas menores que 0°C por no mínimo dois anos. Este é definido com base na temperatura, não sendo obrigatória a presença de gelo, já que o ponto de solidificação da água pode ser alterado, sendo reduzido para valores abaixo de 0°C. Sendo assim a presença do *permafrost* não indica uma condição de congelamento do solo, porém todo solo sob condições permanentes de temperatura abaixo de 0°C é *permafrost* (HARRIS et al., 1988).

O *permafrost* é considerado como a massa dentro do solo, mas geleiras, deposições superficiais de gelo ou águas superficiais com temperaturas constantes abaixo de 0°C não se enquadram nesse termo. Além de ocorrer em paisagens frias das latitudes mais altas, o *permafrost* é encontrado também em grandes altitudes de regiões de baixa latitude. Conhecido como alpino ou *permafrost* de montanha, ocorre em diversas partes do mundo, inclusive no platô tibetano, nas Montanhas Rochosas da América do Norte e na Cordilheira dos Andes na América do Sul (CHRISTY, 2008).

2.2.1 Permafrost na América do Sul

Algumas estimativas consideravam que os *permafrosts* de montanha representavam cerca de 30.000 km². Atualmente esta estimativa chega a 270.000 km². Os *permafrosts* Andinos são divididos de acordo com o local de ocorrência, sendo assim divididos em *Permafrost* Marítimo no Sul, aqueles que se encontram entre as latitudes 35° - 55°30'S, *Permafrost* Continental ou 'Seco', este subdividido em Andes desértico (17°30' - 31°S) e Andes Central (31° - 35°S), e em Andes Tropicais os que se encontram em latitudes menores que 17°30'S, chegando a ocorrer até nos andes venezuelanos. Segundo Trombotto (2000), os *permafrosts* Andinos podem se apresentar nas seguintes formas: *Permafrost* Contínuo, Descontínuo, Seco, Degradado e Ilhas de *Permafrost* (TROMBOTTO, 2000).

Permafrost Contínuo é caracterizado pela ocorrência contínua ao longo da superfície exposta de uma região geográfica, com exceção dos locais dispersos, como sedimentos recém depositados e inconsolidados, onde o clima está apenas começando influenciar o regime térmico do solo, causando a formação do *permafrost* (HARRIS et al., 1988). Dentro deste pode-se agrupar outro tipo de *permafrost*, os '*permafrost* praticamente contínuo', termo utilizados por Garleff & Stingl (1986) para descrever a ocorrência de *permafrost* muito restrito as condições de topografia e limitado às condições de temperaturas média anual do ar (TMAA). A distribuição e características do *permafrost* encontrado na América do Sul estão apresentadas na Tabela 1.

Permafrost descontínuo se caracteriza pela ocorrência quebrada do *permafrost*, mas não é possível se obter uma nítida distinção ou fronteira entre as zonas de *permafrost* contínuos e descontínuos, estando ligado a condições climáticas onde a temperatura média da superfície do solo se mantém entre 0 e -5°C (HARRIS et al., 1988).

Permafrost Degradado ou degradação do *permafrost* é a diminuição natural ou artificial da espessura e/ou extensão da área de *permafrost*. A degradação do *permafrost* pode ser causada por aquecimento climático, por alterações nas condições do terreno, como a perturbação ou a remoção de uma camada de isolamento de vegetação pelo fogo, ou por inundações provocadas por um fluxo de deslizamentos de terra, ou pela atividade humana. (HARRIS et al., 1988).

Permafrost Seco é a condição de *permafrost* onde não se encontra água livre ou a presença de gelo. Uma quantidade insignificante de umidade na forma de água interfacial pode estar presentes em poros do solo ou rochas (HARRIS et al., 1988).

Ilhas de *Permafrost* são caracterizadas pela sua ocorrência em áreas de elevadas altitudes, onde sua presença é principalmente ocasionada por fatores como a geomorfologia, correntes de ar frio, composição do solo, assim como a sua cobertura vegetal (TUMEL, 2002). As ilhas de *permafrost* são os mais comuns na cordilheira andina, se estendendo do Equador até a Bolívia, como podem ser observadas na Figura 2. A ocorrência das ilhas de *permafrost* também podem representar os vestígios de um paleoclima (relict *permafrost* ou *permafrost* relíquia), onde a temperatura do *permafrost* se encontra em desequilíbrio com as temperaturas médias anuais atuais do solo, mostrando que este se formou em condições de temperatura (geralmente mais baixas) do que se encontra hoje, ocorrendo em lugares onde as condições atuais não propiciariam a sua formação (HARRIS et al., 1988).

Tabela 1. Tipos de *Permafrost* Andino e sua distribuição (Adaptado de TROMBOTTO, 2000).

Tipo de <i>Permafrost</i>	Andes Tropicais	Andes Secos	
		Deserto Andino (17°30'-31°)	Andes Centrais (31°-35°S)
Contínuo	Chimborazo (6275m) Equador ,	Noroeste Argentino, -1/-2°C TMAA, <300mm.ano-1	-2/-4°C TMAA, 500-900 mm.ano-1,
Aproximadamente Contínuo	limite inferior (5250-5300m)	Escorregamentos e crioplanação	Crioplanação de encostas
Descontínuo*	Geleira de rochas ativas	Geleiras de rochas >175mm.ano-1	Geleira de rochas ativas
Esporádico	-	Geleiras de rochas	Geleiras de rochas
Ilhas	Chimborazo,	-	Criobacias de
Locais Isolados	Equador<5000m	-	criosedimentos
Seco	-	Diagonal seca da América do Sul	Escorregamento de partículas
Montanhas 'quentes'	-	Geleiras de rochas, temperatura do gelo constantemente< -1,6°C	Baixa resistência nas criobacias de
Degradado	-	Baixa resistividade > 20000 Ωr	criosedimentos
Relíquia	-	Salt Lakes, Puna de Atacama e Altiplano	Geleiras de rochas

* *Permafrost* descontínuo presente também no Marítimo do Sul (35°-55°30'S), sob condições de Geleira de rochas ativas.

Os *permafrosts* Andinos ocorrem nas mais diversas altitudes. Na Argentina este são encontrados próximos a 4.500m, sendo classificados como ‘aproximadamente contínuos’, sendo estes limitados por fatores locais, baixa precipitação (300mm.ano-1) e TMAA entre -2 e -4°C na região dos Andes Centrais (33°S e 4.500m) e na região da Punta Argentina ocorrem em áreas com precipitações na ordem de 500-900mm.ano-1 e TMMA entre -1 e -2°C. Na região do Cordón del Plata (Andes Centrais) há predomínio de *permafrosts* descontínuos, alguns combinados com geleiras de rochas (*rock glaciers*), estes se apresentam a altitudes de 3.700-3.800m. Na região da Patagônia, em Santa Cruz (Andes Úmidos – 51°30’S) foram registrados *permafrosts* ocorrendo por volta de 980-1.100m; já na região próxima ao Lago Vintter (44°S) foram registrados a 2060m (TROMBOTTO, 2000).



Figura 2. Mapa da América do sul: Importantes Regiões Criogênicas e Temperatura Média Anual do Ar. Preto TMAA entre -5 e 0°C, Cinzas >5°C (Adaptado de TROMBOTTO, 2000).

No Equador, na área do Chimborazo (6.275m), onde se tem condições típicas tropicais, mas com condições secas, tem a ocorrência de *permafrost* contínuos acima de 5.250-5.300m e ilhas de *permafrost* abaixo dos 5.000m. Algumas áreas como no Altiplano e Puna de Atacama (Bolívia e Chile), as condições locais permitem a preservação de gelo, como no caso de gelo encontrado em Salt Lake, onde se observou registros de uma pequena

era do gelo (TROMBOTTO, 2000). Particularidades térmicas regionais e condições secas parecem reforçar os efeitos dos processos periglaciais e a persistência de gelo nos solos dos Andes Centrais (TROMBOTTO, 2000).

Trombotto (1991) observou que os limites inferiores da ocorrência de *permafrost* tem se alterado com o passar dos anos, sendo os *permafrosts* localizados a menores altitudes são os mais influenciados pelos processos de aquecimento, isso pode ser evidenciado pela presença de atividade na geleira de rocha em Mendoza, na Argentina.

2.3 Camada Ativa

É a camada superior do solo onde ocorrem ciclos de descongelamento e congelamento nas áreas com presença de *permafrost*. A espessura da camada ativa varia de ano para ano, dependendo de fatores como a temperatura do ar, vegetação, drenagem, solo ou tipo de rocha, teor de água, cobertura de neve, grau de inclinação e orientação. A camada ativa inclui a parte superior do *permafrost* onde quer salinidade ou o conteúdo de argila do *permafrost* permite descongelar e congelar anualmente, mesmo que o material permaneça em condições crióticas.

O uso do termo "profundidade do *permafrost*" como um sinônimo para a espessura da camada ativa é enganosa, especialmente em áreas onde a camada ativa é separada do *permafrost* por uma camada de gelo residual, ou seja, por uma camada de solo descongelada (não-criótica) (HARRIS et al., 1988).

O crescimento das plantas é limitado em grande parte da camada ativa, uma vez que as raízes não podem penetrar no solo congelado que se encontra abaixo dela. A ocorrência de plantas em regiões de *permafrost* abundante, e irão depender do clima e hidrologia. As plantas mais comuns incluem arbustos anões, bétulas e abetos, musgos e líquens.

Gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e metano podem ser liberados com o derretimento do *permafrost*. Quando o material orgânico na camada ativa do *permafrost* derrete e se decompõe, pode liberar carbono para a atmosfera, como o aumento da temperatura acelera os processos, mais rápido o descongelamento ocorre. A quantidade de carbono atualmente estimada na parte superior do *permafrost* varia de 500 bilhões chegando até a 1 trilhão de toneladas, sendo que os valores atuais para carbono na atmosfera apontam para uma carga aproximada de 800 bilhões de toneladas (CHRISTY, 2008).

2.4 Alterações Climáticas e a Cordilheira Andina

Estima-se que na Cordillera Blanca, no Peru, cerca de 22% do volume de massa das geleiras desapareceram desde o final dos anos 60 (UNESCO, 2007). Este recuo das geleiras é evidente nos Andes Peruanos, onde estão localizadas 70% das geleiras tropicais do mundo, e este cenário também se repete em outras áreas ao longo da cordilheira.

Thompson (2006) apresenta evidências que comprovam a presença de mudança climática abruptas nas áreas tropicais andinas. O recuo contínuo das geleiras existentes a médias e baixas latitudes verificados atualmente é um demonstrativo dos sinais de uma mudança recente ocorrida no sistema climático da Terra. A presença de plantas de zonas úmidas, agora expostas ao longo das margens de calotas de gelo recuadas em Quelccaya (Peru), que depois de datadas por radiocarbono, fornecem fortes evidências para um evento abrupto de clima durante o Holoceno, que marcou a transição das condições de frio do Holoceno inicial para as condições do Holoceno tardio.

Análises recentes dos registros históricos de temperatura têm demonstrado que as temperaturas atmosféricas nos Andes tropicais têm aumentado ao longo das últimas décadas (MARK, 2005). Thompson (2006) após um monitoramento de 42 anos, detectou um recuo considerável na posição das geleiras de Qori Kalis, nos andes peruanos (Figura 3). Essas linhas de evidências sustentam que as alterações climáticas e o recuo das geleiras são sem

precedentes nos últimos 5.200 anos. O principal impacto do recuo rápido das geleiras de montanha é no suprimento de água doce em muitas das regiões mais populosas do mundo (UNESCO, 2007).

As geleiras andinas tem se mostrado um ótimo sensor para se relatar as mudanças climáticas, já que estas são sensíveis a qualquer tipo de alterações, visto que a temperatura do seu gelo está próxima do ponto de fusão. O equilíbrio do estado de uma geleira é gerenciado pelo balanço de energia, sendo o recuo fortemente regido pela temperatura, mas integrado as influências do fluxo do balanço de massa em superfície, face de exposição, precipitação, nebulosidade e umidade, já que estas últimas interferem nas condições de incidência de radiação solar (MARK, 2005; THOMPSON et al., 2006).

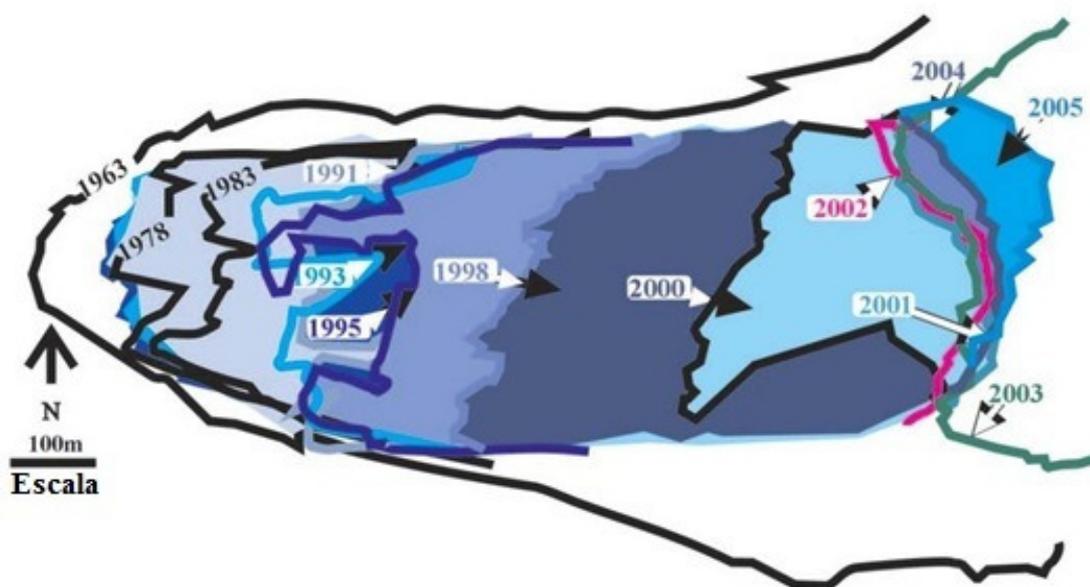


Figura 3. As linhas mostram o recuo da posição das geleiras de Qori Kalis, Andes Peruanos entre 1963-2005 (Adaptado de THOMPSON et al., 2006).

Mantendo-se o ritmo atual pode estimar que a maioria das geleiras de baixa latitude e as geleiras de altitude, podem desaparecer em futuro próximo (THOMPSON et al., 2006). No entanto, mais estudos sobre geleiras na região tropical dos Andes são necessários para se estabelecer a natureza espacial das condições de recessão das geleiras andinas e o impacto relativo de variáveis climáticas para este balanço de massa.

2.5 Criossolos

Os Criossolos abrangem aproximadamente 13% da superfície terrestre (FAO, 2007). Ocorrem em zonas de *permafrost* em ambos os hemisférios, desde toda a linha ártica, como a antártica e regiões alpinas e andinas. Este possui um grande interesse global, já que também estão sob os efeitos das variações da temperatura. A principal preocupação é o impacto do aquecimento global sobre solos permanentemente congelados, pois além de grande quantidade de gelo, se tem grande quantidade de carbono orgânico e gás metano armazenado neles, e estas mudanças podem levar a remodelação das paisagens do hemisfério norte, degradação da qualidade da água e a liberação de grandes quantidades de carbono na atmosfera (UNESCO, 2007).

A existência dos Criossolos e *permafrost* há muito são de conhecimento do homem, porém foi a partir de 1960 que os primeiros estudos foram iniciados, com foco na caracterização desses solos, classificação e mapeamento. A partir de 1990, com os primeiros enfoques sobre as mudanças climáticas, a ênfase foi deslocada para a degradação do solo e os efeitos das mudanças globais sobre estes (HAEBERLI & GRUBER, 2009).

Os Criossolos são caracterizados, segundo a Base Referencial Mundial de Solos (FAO, 2007), como os solos minerais afetados por *permafrost*, a água presente geralmente se apresenta na forma de gelo e os processos criogênicos são os principais fatores de formação. Para ser classificado como Criossolo, esse deve apresentar a um horizonte criogênico nos primeiros 100 cm de profundidade, que deve apresentar temperatura abaixo de 0°C, por dois anos e/ou evidências de crioturbação. Solos que apresentam estas evidências a maiores profundidades são enquadrados no sub-nível categórico gélido, sendo classificados como outros grupos por precedência taxonômica (FAO, 2007). A denominação Criossolo é adotada pelo sistema internacional, mas pode variar entre sistemas, sendo classificados, por exemplo, como Gelisols pelo sistema americano (USDA, 2010) e como Cryozems pelo sistema russo (SHISHOV et al., 1998).

2.6 Vulcão Cotopaxi - Caracterização Ambiental

2.6.1 Fisiografia

Com 5.897m de altitude, o Cotopaxi está cercado pelos extintos vulcões Rumiñahui, Sincholagua, Pasochoa e a caldera Chalupas, e é um grande divisor, separando as províncias de Cotopaxi, Napo e Pinchincha. Este possui formato de cone simétrico, com flancos com inclinações maiores que 35° (Figura 4). A topografia em seu entorno está entre 3.000 e 4.000m de elevação, enquanto o diâmetro da base possui aproximadamente 22 km (MOTHES, 2006).

Ele contém um cone tephra, que por sua vez, abriga uma pequena cratera que tem sido o respiradouro ativo durante as erupções históricas, e uma cratera principal localizada no ápice, que possui cerca de 800m (N-S) e 650m (E-W) de diâmetro, com uma profundidade de aproximadamente 100m (HRADECKA et al., 1972; Hall et al., 2005). Este apresenta atividade fumarólicas nos flancos da cratera e parte superior do vulcão, bem como recentes erupções históricas, que confirmam o estado ativo de Cotopaxi. Desde 1534 o Cotopaxi fez várias grandes erupções, e são perceptíveis os eventos de 1742, 1744, 1768 e 1877 (ANDRADE et al., 2005).

Como a maioria das geleiras encontradas no Equador, as geleiras do Cotopaxi são influenciadas em sua formação pelos ventos úmidos vindos do Amazonas, esse fenômeno faz com que as geleiras em seus flancos leste sejam maiores em comparação com outras geleiras nos flancos do vulcão. As geleiras do lado oriental podem começar a partir de 4.600m, e a do lado ocidental em alguns casos, a partir do 5.000 m. A área e volume do glaciar é estimado em 14 km² e 0,7 km³, respectivamente, sendo o flanco norte da geleira correspondente a 4,7 km² desta área e cerca de 0,25 km³ do volume total (YEPES et al., 2006).

A Cordilheira Oriental é produto de vulcanismo Quaternário que produziu enormes buracos e/ou cortes, abrindo caminho para as águas a leste. Alguns dos fluxos d'água da região são alimentados pelo degelo dos glaciares do Cotopaxi, como o Rio Tamboyacu e Tampo no sudeste, que mais tarde se juntam ao rio Napo (Figura 5). As porções norte e leste do glaciar alimentam a cidade de Rio Pita, e flui para o norte do povoado Valley Chillos. O rio Cutuchi recolhe as águas que escoam do flanco oeste e sul e passa pelas cidades de Latacunga e Salcedo antes de se dirigir para o leste da Bacia Amazônica (YEPES et al., 2006).



Figura 4. Vulcão Cotopaxi, Equador.

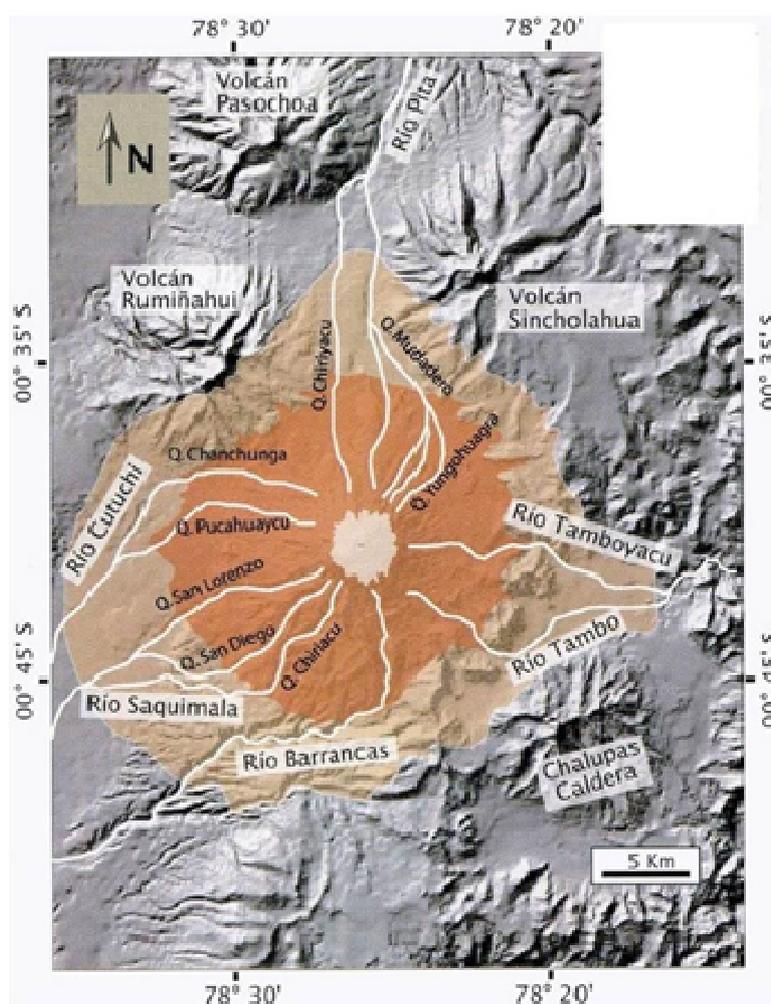


Figura 5. Mapa Hidrológico do Vulcão Cotopaxi (Adaptado de MOTHEs, 2005).

O Vulcão Cotopaxi é um dos vulcões mais perigosos do Equador, devido à sua intensa atividade recente e à predisposição para originar lahares, que são movimentos de massa formados em regiões vulcânicas gerados pelo deslocamento ao longo dos vales ou encostas

íngremes da fusão dos glaciares com os materiais piroclásticos, se comportando como uma grande avalanche. São comuns durante erupções vulcânicas, onde grandes volumes de água se tornam líquida e se englobam aos materiais vulcânicos, densificando e arrastando qualquer elemento que esteja no seu trajeto (AGUILERA & TOUKERIDIS, 2005).

2.6.2 Geologia

A morfologia e geologia dos Andes modernos são fortemente influenciados pela idade, geometria e morfologia das placas de subducção oceânica. Um recurso de primeira ordem relacionado com estas placas subductadas é a divisão do arco vulcânico ativo em zonas vulcânicas Norte (ZVN), Central (ZVC), Sul (ZVS) e Austral (ZVA). O ZVN, ZVC e ZVS se devem principalmente a segmentos da placa de Nazca e sua subducção, e o magma destas são principalmente gerados pelo derretimento do manto terrestre (ALEMÁN & RAMOS, 2000).

No Equador, o vulcanismo Plio-Quartenário é distribuído ao longo de três linhas: frente vulcânica da cordilheira ocidental, arco principal na cordilheira oriental e na região do “back-arc” no sopé oriental. É o principal centro vulcânico da Zona Vulcânica Norte dos Andes, sendo resultante da subducção de 12-20 Ma da placa de Nazca sob a placa Sul-Americana. O vulcanismo equatoriano é provavelmente acentuado pela subducção do Carnegie “ridge”, que tem sido empurrado por 2, podendo chegar a 8Ma (STERN, 2004). O vulcão Cotopaxi é o principal vulcão da cordilheira oriental, a cadeia de montanhas que dá forma à fronteira leste do Vale Interandino do Equador (Figura 6).

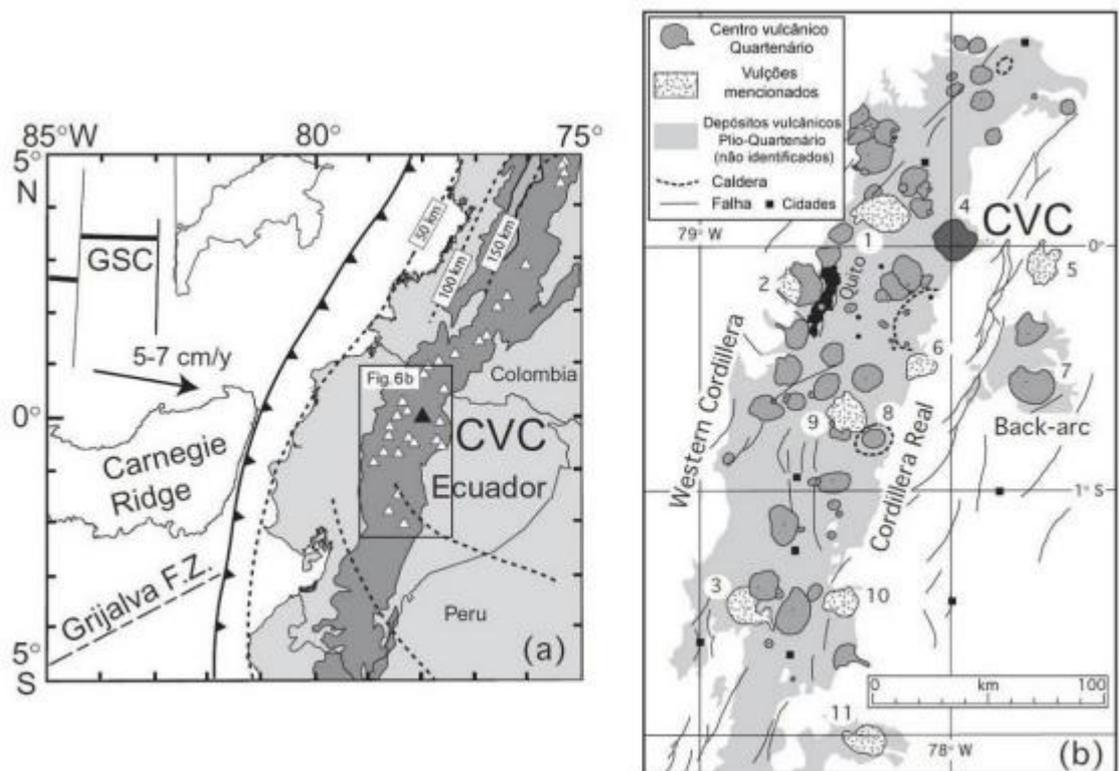


Figura 6. (a) Estabelecimento de Geodinâmica do arco do Equador, incluindo as principais características oceânicas, as setas pretas indicam o avanço da placa subductada, triângulos brancos representam os vulcões. (b) Arco vulcânico Equatoriano. Nomes dos principais elementos que o compõe: Mojanda-Fuya Fuya (1); Pichincha (2); Chimborazo (3); Cayambe (4); El Reventador(5); Antisana (6); Sumaco (7); Chalupas caldeira (8); Cotopaxi (9); Tungurahua (10); Sangay (11). (Adaptado de SAMANIEGO et al., 2005).

A conformação vista atualmente na paisagem do Cotopaxi é proveniente de uma complexa história de eventos geológicos e eruptivos. Hall et al. (2005) classificou os eventos ocorridos, gerando o mapa geológico do Vulcão Cotopaxi (Figura 7), além de caracterizar as diversas fases geológicas presente naquele vulcão (ANDRADE et al., 2005):

Fase Cotopaxi I - Corresponde aos restos dos mais antigos depósitos da atividade do Cotopaxi, estimados em 500 mil anos. Nesta ocasião, a feição deste vulcão era bastante diferente do que é atualmente, formado por um grupo de aproximadamente 8 km de domos alinhados. Acredita-se que suas dimensões e formas se assemelhavam com a da Caldera do vulcão Quilotoa. Posteriormente se instalou um período de erupções que geraram um cone semelhante ao presente, traços dos quais estão atualmente representadas pelo Monte Morurcu (4.850m), localizado a sudoeste do vulcão. Depois de um processo ativo, veio um estado de relativa calma, onde o edifício vulcânico foi construído sob fenômenos de forte erosão pelas geleiras e rios. Este estado de calmaria pode destacar a formação de duas unidades geológicas que ainda pode ser vista atualmente:

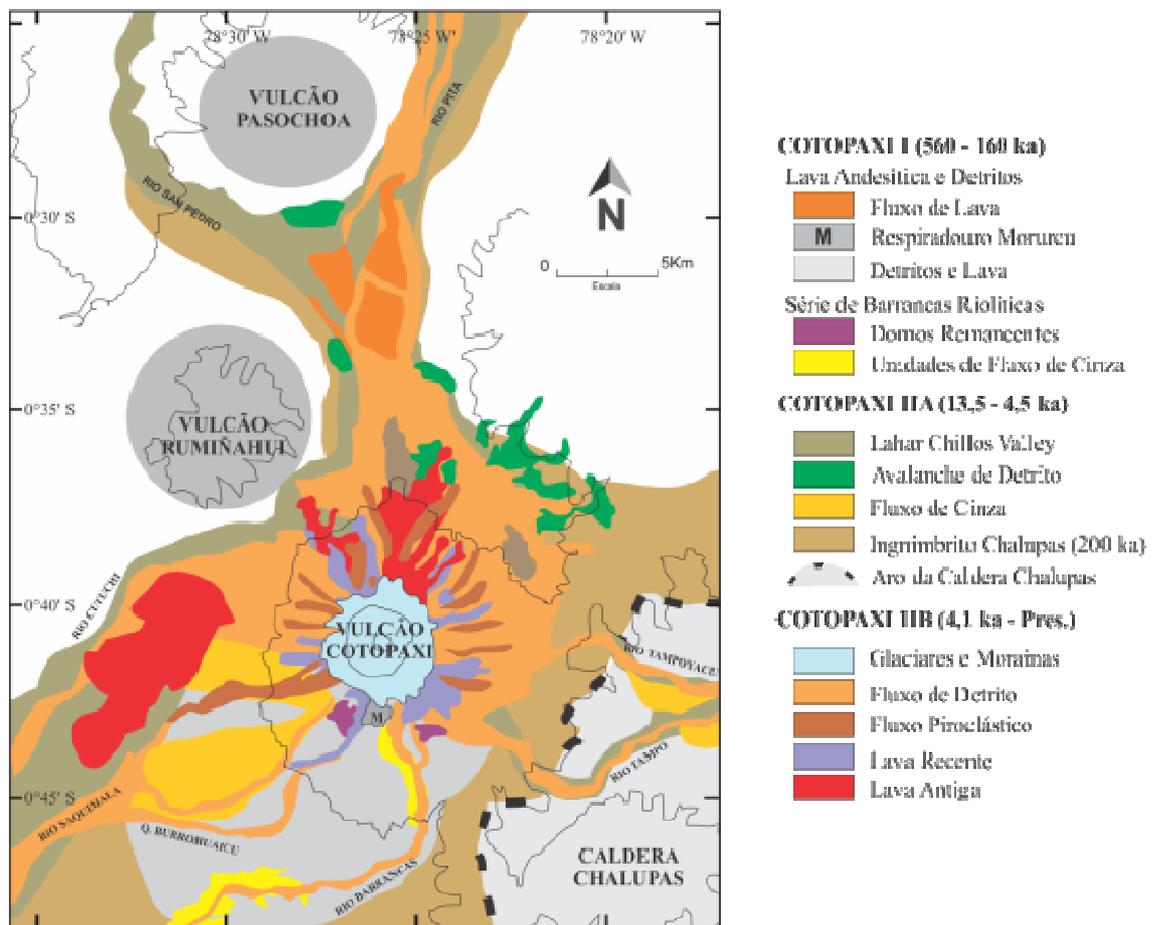


Figura 7. Mapa Geológico do Vulcão Cotopaxi (Adaptado de HALL et al., 2005).

Unidade Cangahua: Depósito de cinzas marrom claro ou bege com vários metros de espessura e muito dura. Esta unidade é facilmente visível na maior parte do norte dos Andes equatorianos.

Unidade Chalupas: Enorme depósito de cinzas, com tonalidade cinza claro ou quase brancos e pomes. Este depósito pode ser visto ao longo do vale andino de Riobamba, no sul e Tumbaco, no norte.

Cotopaxi II A - Esta fase corresponde a uma reativação, de acordo com estudos geológicos, que ocorreu há aproximadamente 13.200 anos atrás. Estas erupções foram caracterizadas por serem de natureza altamente explosiva, onde as camadas de importantes depósitos gerados por esses eventos podem ser observadas em áreas que incluem as cidades de Sigchos, Quito, Papallacta, Cosanga e Coca.

Segundo Andrade et al. (2005), essas erupções produziram uma elevada instabilidade no vulcão, e provavelmente há 4500 anos atrás ocorreu uma erupção muito explosiva, que gerou uma avalanche de detritos, seguido de grandes fluxos piroclásticos. A combinação de todos estes elementos derreteu uma grande parte da geleira quase imediatamente, levando a formação de um lahar de tamanho gigantesco, conhecido como "Lahar del Valle de los Chillos". Este lahar é possivelmente o maior fluxo que já se formou no Cotopaxi, e correu sentido ao norte ao longo dos rios Pita, San Pedro e Guayllabamba e atingiu o Oceano Pacífico através do rio Esmeraldas. Como resultado de todos estes eventos, destruiu quase um quarto do vulcão Cotopaxi conhecido como II A.

Cotopaxi II B (Cone atual) - Após a erupção terrível que destruiu o Cotopaxi II A, vieram às fases de constantes erupções de lava densa, que foi gradualmente construindo o cone vulcânico que é visto atualmente. Os destaques são os fluxos de lava que data aproximadamente de 4060 e 1195 anos, que correram pelos flancos norte, leste e oeste.

Embora os registros das atividades do Cotopaxi só começaram a ser feitas a partir da chegada dos espanhóis, e muitos destes tenham se perdido ao longo dos anos, é possível verificar através de relatos históricos, que nos últimos 500 anos o ciclo de atividade do Cotopaxi apresentou média de uma erupção por século: 1532 – 1533; 1742 – 1744; 1766 – 1768; 1854 – 1855; 1877 – 1880.

Em 1877, o vulcão começou a dar sinais de atividade, quando em 26 de junho houve a erupção, com muito despejo de cinza, fluxo de lava, fluxos piroclásticos e lahar, que devido a sua grande intensidade, varreu a drenagem de três rios, Cutuchi, Tambo e Pita. Os lahars foram os elementos mais destrutivos que afetaram as populações em diversas áreas e foram surpreendentemente rápido, destruindo tudo o que estava a caminho, desde plantações, edificações e tudo mais. O fluxo levou aproximadamente 30 minutos para chegar a Latacunga, um pouco menos de uma hora para chegar ao Vale dos Chillos, cerca de 3 horas para a área de Baños (Tungurahua), e cerca de 18 horas para chegar à boca do Esmeraldas, sobre o Oceano Pacífico, um percurso por volta de 330 km (MOTHES, 2006). Devido ao tamanho do impacto na região, esta entrou em colapso econômico, pois os centros urbanos, habitações, agriculturas, criação de animais, foram todos destruídos após este evento, chegando a afetar aspectos religiosos e culturais (Figura 8).

As erupções do Cotopaxi, incluindo a de 1877, foram caracterizadas por seis tipos de fenômenos eruptivos: detritos e fluxos de lama (lahars), quedas de lava e cinzas, fluxos piroclásticos, lava, vapor quente e gases vulcânicos e terremotos vulcânicos. Os eventos típicos durante uma atividade vulcânica podem ser observados na Figura 9.



Figura 8. Mural encontrado na cidade de Latacunga, Nuestra señora de la Merced - Nuestra Señora del Volcán y Cerro de Cotopaxi.

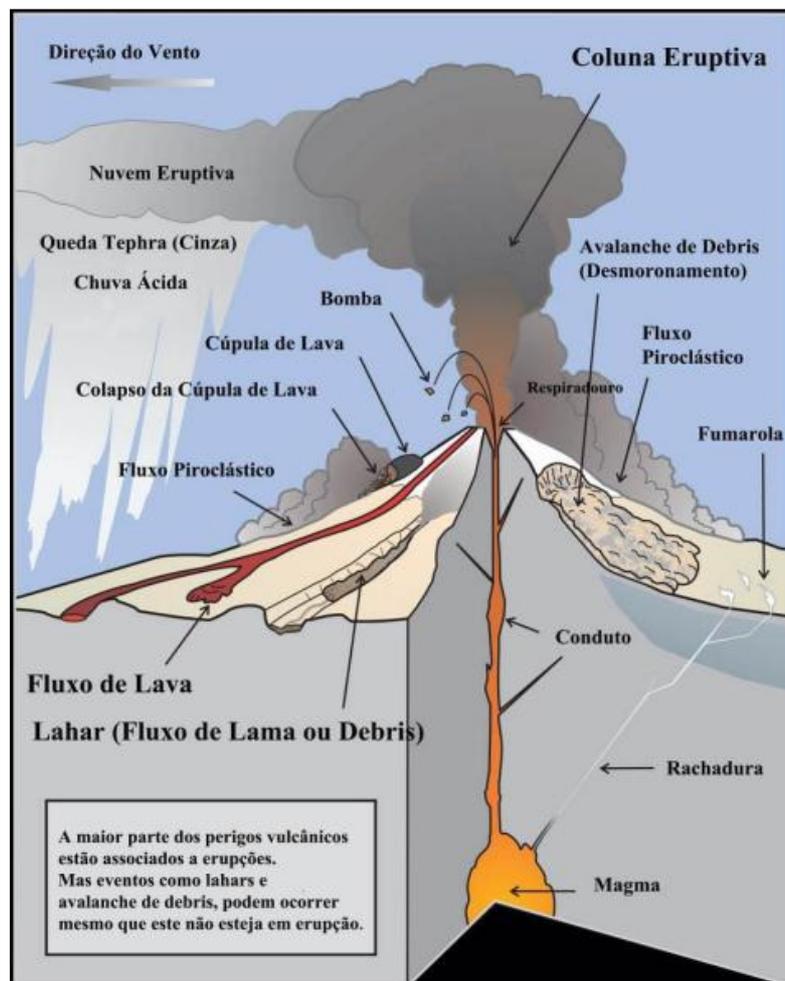


Figura 9. Esquema de um estrato vulcão típico e seus eventos durante uma erupção (Adaptado de USGS, 2008).

Em relação aos riscos de uma nova ocorrência de atividade do Cotopaxi, a Tabela 2 apresenta os padrões utilizados para categorizar a atividade apresentada pelos vulcões durante seu período de atividade, estando os eventos do Cotopaxi categorizados na maioria de suas erupções no IEV entre 3 e 4, sendo entre os períodos de 1532 a 1880 registradas 18 erupções importantes, 6 com IEV 3, 10 eventos com IEV 4 e 2 eventos com Índice de Erupção Vulcânica maior que 4 (HALL et al., 1992).

Tabela 2. Tabela de Índice de Explosividade Vulcânica e suas definições (Adaptado de USGS, 2011).

IEV*	Material Ejetado (volume)	Classificação	Descrição	Pluma (altura)	Frequência
0	<10.000 m ³	Havaiana	efusivo	<100 m	constante
1	> 10.000 m ³	Havaiana/ Estromboliana	suave	100-1000 m	diariamente
2	> 1.000.000 m ³	Estromboliana/ Vulcânica	explosivo	01/03 km	semanal
3	> 10 milhões m ³	Vulcânica/ Peleana	grave	03/15 km	alguns meses
4	> 0,1 km ³	Peleana/ Pliniana	cataclísmico	10-25 km	≥ 1 ano
5	> 1 km ³	Pliniana	paroxístico	20-35 km	≥ 10 anos
6	> 10 km ³	Pliniana/Ultra- Pliniana	colossal	> 30 km	≥ 100 anos
7	> 100 km ³	Ultra-Pliniana	super- colossal	> 40 km	≥ 1.000 anos
8	> 1,000 km ³	Supervulcânica	mega- colossal	> 50 km	≥ 10.000 anos

* IEV – Índice de Explosividade Vulcânica

As erupções de magnitude moderada a grande (IEV 3 - 4,5) são as quais um grande volume de magma é expulso em forma de fluxos piroclásticos (0,1-1,0Km³), emissão de enormes nuvens de cinza (3 a 25 Km de altura), e eventualmente fluxos de lava. Os fluxos piroclásticos são produzidos por processos de "transbordamento" do magma desde a borda da cratera (caso da erupção de 1877), o pelo colapso da coluna eruptiva. Nos dois casos, os fluxos piroclásticos deslizam amplamente pelo flanco do vulcão, fundido facilmente os vários metros de espessura da superfície do glaciar e gerando grande lahares. Estas erupções estão acompanhadas por despejo regional de escoria ou pomes grossa, com acumulação de vários centímetros de espessura, particularmente próxima ao cone, onde os acúmulos podem ser maiores que 1m (HALL et al., 2005).

Atualmente cerca de 100.000 pessoas vivem no caminho de fluxo do lahar da última erupção (1877), e são potencialmente ameaçadas caso ocorra um lahar futuro devido à erupção do Cotopaxi (MOTHES, 2006). Este fato qualifica Cotopaxi como um dos vulcões mais perigosos das Américas. A Tabela 3 apresenta uma síntese das erupções ocorridas no Cotopaxi nos últimos 2000 anos, suas características e intensidade.

Atualmente, os flancos Cotopaxi são cobertos por sequências espessas de material vulcânico, compostos principalmente de blocos vulcânicos, bombas e piroclastos. São encontradas também fluxos de lava jovens em quase todos os lados do cone. Ao longo dos flancos do cone inferior e próximo de toda a base do cone, os depósitos dos fluxos de detritos

da erupção de 1877 e outras erupções históricas são amplamente distribuídos. Estes formam uma enorme área estéril, profundamente coberta por blocos de rocha, especialmente nas áreas próximas ao Lago Limpiopungo, ao longo do Rio Pita, e também ao redor do sopé ocidental do vulcão.

Tabela 3. Síntese dos últimos 2000 anos de erupções do Cotopaxi, dividida em grandes períodos e os fenômenos produzidos (Adaptado de MOTHEs et al., 2004).

Idade	Principais Erupções	Queda de Tephra Sub-Pliniana/ Pliniana	Fluxo Piroclástico	Lahar	Fluxo de Lava	IEV*
1880	1	1				2-3
1877	2	1	Sim	Muitos	Sim	4
1853-1854	2	1	Sim	Muitos	1	3-4
1768	1	1	Sim	Muitos	1	4
1766	1	1	Sim	Muitos		3
1744	1	1	Sim	Muitos		4
1743	1	1	Sim	Muitos		3-4
1742	1	2	Sim	2		4
1532-34	3	2	Sim	2	1	3-4
~900 AP	2	3	Sim	Muitos		3-4
1000 AP	4	2	Sim	2		>4
1180 AP	2	1	Sim	Muitos		3-4
1210 AP	1	1	Sim	2	1	4
1770 AP	1	1	?	Muitos	Vários	4
1880 AP	1	1	Sim	2	1	>4
1880-2000 AP	1	1	Sim	Muitos		4
~2000AP	1	1	Sim	?		4
Total	26	22	>14	>20	>7	

AP – Antes do Presente

Formado também por rochas andesíticas porosas, que levaram a formação de um subsolo vulcânico, que favorece a estabilização e a sobrevivência de espécies como gramíneas e ciperáceas (Figura 10).

Esta possui como base, camadas de sedimentos erosivos de calcário, granito e outros aglomerados de idade cretácica. Além do Cotopaxi, estão contidos nesta cordilheira os vulcões Pasochoa, Antizana, Sincholagua, as colinas de Yana, Urcu, Huanta e Tanda. (HINOJOSA, 1996).



Figura 10. Sequência estratigráfica típica e vegetação estabilizada, encontrados na área do Vulcão Cotopaxi, corte de estrada com cota aproximada de 4700m ANM (Foto: CORREA, G. R.).

Diversos trabalhos apresentam dados sobre a estratigrafia do vulcão Cotopaxi (PISTOLESI, 2008; MOTHEs, 2004; MOTHEs, 2006), onde são realizadas análises históricas e estratigráficas das camadas encontradas ao longo da topografia do Cotopaxi, efetuando uma correlação entre as camadas de deposição e os eventos eruptivos, os quais são caracterizados através de seus principais parâmetros físico-vulcanológicos (tamanho de partícula, a dispersão, o volume e altura da coluna, e geoquímica), obtendo desta forma a datação destas. Através das informações históricas sobre os eventos e as aferições de campo, é possível correlacionar as informações sobre eventos eruptivos, reconstituindo a cronologia dos depósitos de tephra e lahar (PISTOLESI, 2008).

O primeiro período de atividade do vulcão foi caracterizado por atividade média, intercalada por pequenas erupções. Após um período de intensa erosão, a atividade voltou com duas erupções com aumentos associados e eventos de fluxo de escória. A atividade entre 1742-44 consistiu em repetidos eventos plinianos em curto espaço de tempo, seguido pela emissão de cinzas de longa duração. Atividade retomada em meados de século XIX produzindo uma série de eventos explosivos, constatados em três camadas finas tephra (ND, NL e NE), o primeiro e o último são associados com depósitos de fluxo de escória (PISTOLESI, 2008).

A camada ND, em particular, é formada por duas camadas principais de tephra (NDC e NDF) separadas por uma camada de cinzas avermelhadas (NDR). As camadas ND e NL estão associadas à atividade de 1853, em particular com base na escala do lahar e geração de escória. Os fluxos de ND associados à escória mostram pulsos múltiplos e estão presentes no topo de ambas as camadas NDC e NDF. Eles foram encontrados tanto no norte e no lado sul do vulcão e eles têm, provavelmente, a maior extensão da área que diz respeito a todos os outros depósitos de fluxo observados escória (PISTOLESI, 2008).

2.6.3 Estudos geomorfológicos

Os processos e fenômenos que ocorrem dentro de uma dada área são controlados pelo formato de sua superfície e suas inter-relações, ditando a distribuição espacial do clima. Em estudos ambientais é de suma importância uma maior veracidade do comportamento e distribuição dos processos durante sua representação, principalmente os relacionados à gênese e formação dos solos, como o escoamento superficial e subterrâneo da água, assim como seu potencial de erosão e umidade do solo afetando suas características físicas e químicas (HUTCHINSON & GALLANT, 2000). A análise do relevo permite compreender a atuação diferenciada dos mecanismos de formação, favorecendo ou não à remoção, adição, transformação e translocação de material de solo ou de origem em uma determinada condição de paisagem.

A distribuição do solo na paisagem é expressa de acordo com a influência de vários fatores, onde através das combinações de elementos como relevo, processos geológicos, climáticos e pedogenéticos, causam a diferenciação dos solos ao longo do terreno (BIRKELAND, 1984), sendo estes parâmetros uma boa referência para estudos dos solos e sua correlação com o ambiente. Desta forma, para a realização dos estudos geomorfológicos foram selecionados atributos reconhecidos como os mais efetivos para a realização de levantamento de solos, sendo estes a elevação, curvatura e declividade (CHAGAS, 2006), além da face de exposição.

2.6.4 Clima e vegetação

As formações ecológicas são determinadas por elementos climáticos como temperatura, precipitação e umidade, estando estes inter-relacionados com os fatores como a altitude e relevo. A posição geográfica e o relevo encontrado na região Andina propiciam uma infinidade de ambientes, sendo estes comandados principalmente pelo relevo, geologia e altitude. Estes elementos fizeram com que a vegetação se adaptasse as condições, muitas vezes hostis, fazendo com que estas dominassem as regiões entre a linha de florestas fechadas e o limite superior da vida vegetal (linha de neve).

O Páramo, como é chamado a vegetação típica da região de estudo, é caracterizado por uma associação entre gramíneas cespitosas, plantas de roseta de grande porte, arbustos com folhas sempre verdes, coriáceas, esclerófila e plantas almofada. Este tipo de vegetação está distribuída ao longo das cristas das cadeias de montanhas ou no topo de montanhas isoladas entre 3.000 e 5.000m de altitude, com sua ocorrência se estendendo por toda a região andina ao longo da América do Sul, com observações na África, Malásia, Havaí, ocorrendo também no Brasil, no Pico da Neblina e Itatiaia (LUTEYN, 1999).

Sua presença dentro do território equatoriano é descontínua, ocorrendo dentro da cadeia de montanhas do Cinturão Andino, indo de norte a sul do país. Este é evidenciado principalmente entre 3.300 e 4.000m, variando de região para região de acordo com as variações geológicas, climáticas e principalmente antrópicas (Figura 11). No Equador, o Páramo cobre cerca de 1.250.000 ha (cerca de 6% do território nacional), sendo o país que possui a maior área de Páramo referente à sua extensão (MENA et al., 2001), com uma estimativa de mais de 1.500 espécies e uma taxa de endemismo de 60% (BELTRÁN et al., 2009).

Sua nomenclatura local varia de região para região, como “Zacatonales” (no México), “Páramo” (no centro e norte da América do Sul), “Jalca” (Peru), “Puna” (áreas mais secas do altiplano dos Andes centrais), “Afroalpine” e “Charneca” (África Oriental), e “Aropical-Alpino” (Malásia). Quanto a nomenclatura no meio científico existem divergências, já que alguns pesquisadores não acham apropriado o termo “alpino”, já que o clima tropical de

altitude difere nitidamente daqueles das regiões alpinas temperadas, particularmente com respeito à sazonalidade e padrões de mudança de temperatura diurna (RUNDEL, 1994), além de ser originado do nome de uma cadeia montanhosa específica e distante das áreas onde estão localizadas.

De forma geral, para categorizar este ecossistema dentro deste trabalho, será utilizado o termo Páramo, ressaltando que as condições Andinas são diversas, apresentando assim dentro de um mesmo ecossistema, diversas condições e espécimes diferenciados, sendo tratado aqui apenas informações referentes ao sítio de pesquisa.

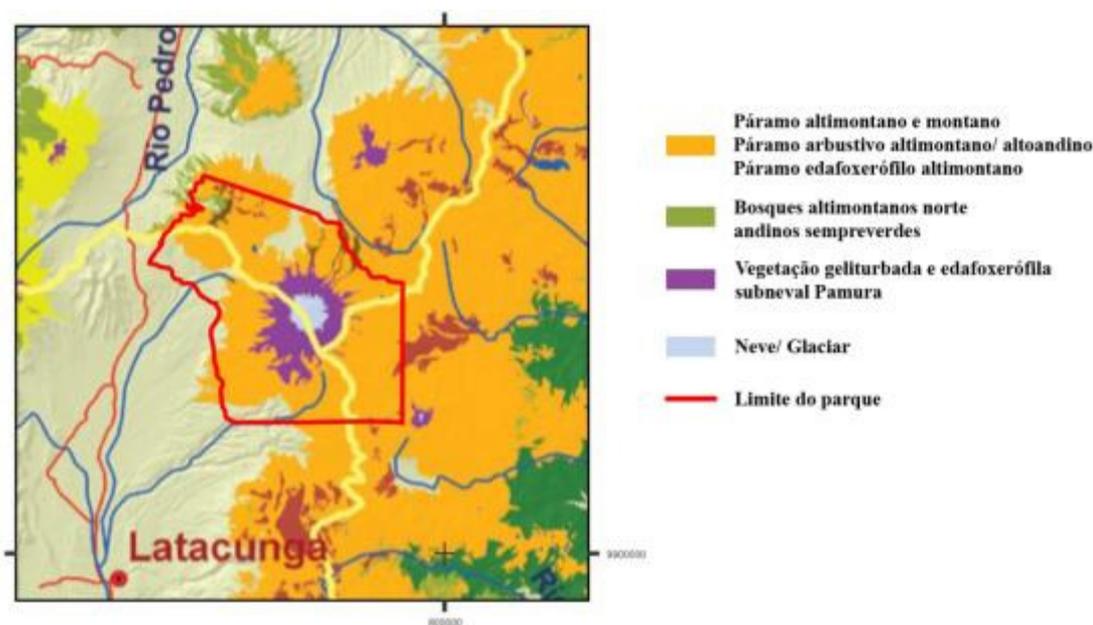


Figura 11. Mapa de vegetação do Parque Nacional Cotopaxi (Adaptado de BELTRÁN et al., 2009)

O clima na região onde está presente o Páramo do Equador é influenciado pela convergência intertropical de massas de ar, devido à sua localização geográfica. É geralmente úmido em maior parte dos meses do ano, com umidade contínua na forma de chuva, nuvens e neblina, principalmente devido à elevação orográfica causada pelo Andes, com uma precipitação superior a 2000 mm e alta umidade relativa, média de 70-85%, podendo chegar a 100% em algumas regiões (HERRMANN, 1970). Luteyn (1999) apresenta uma série histórica de registros de precipitação para o Vulcão Cotopaxi (Figura 12), onde a precipitação anual é cerca de 1.000mm.

A vegetação é altamente adaptada às grandes variações, já que o clima é geralmente frio e úmido, com mudanças bruscas e flutuação diurna da temperatura desde abaixo de zero até 30°C, o que muitas vezes resulta em um ciclo de congelamento e descongelamento diário (HEDBERG, 1964). Embora em geral a temperatura média anual varie de 2°C a 10°C, existe um contraste muito maior no clima das áreas de maior elevação do que é encontrado em zonas mais baixas de cadeias montanhosas. Portanto, o ambiente torna-se mais duro e severo para as plantas conforme ocorre o aumento da altitude (JAVELLAS & THOURET, 1995).

As variações climáticas são intensas e ocorrem mesmo em ciclos diários. Em qualquer época do ano é possível ocorrer chuva, granizo, neve e nevoeiro ao longo do dia, podendo alternar abruptamente com céu claro, ensolarado e temperaturas elevadas (LUTEYN, 1999).

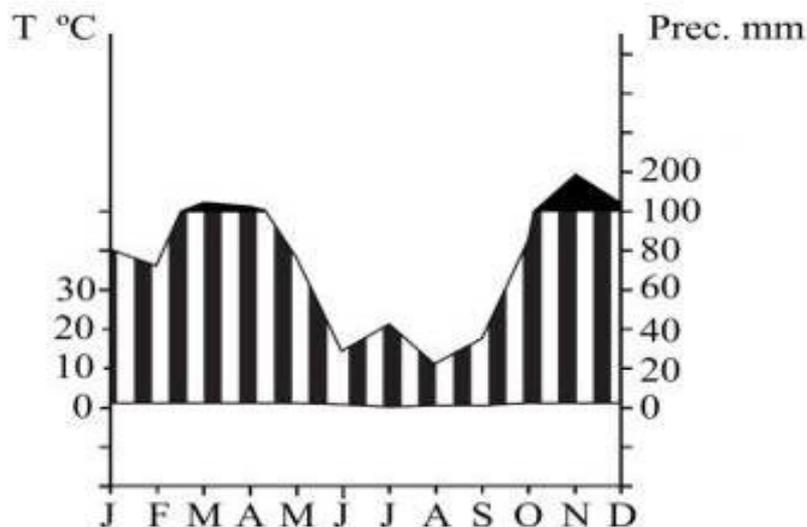


Figura 12. Série histórica de precipitação e temperatura coletada na estação Cotopaxi-Refúgio (4800m) entre 1978-1983 (Adaptado de INAMHI, 2010).

As características físicas, químicas e climáticas da região afetam o funcionamento biológico dos organismos que nelas vivem. Segundo alguns autores (LITTLE, 1981; MANI, 1980; VARESCHII, 1970 e LUTEYN, 1999a), as plantas que crescem nessas áreas devem ser adaptadas para suportar diversas condições, como:

- Ar de alta elevação (com menor teor de umidade e baixa pressão parcial de gases como o O₂ e CO₂),
- Baixas temperaturas (na sombra a temperatura média anual diminui cerca de 0,6 °C para cada aumento de 100 metros de altitude, enquanto que em plena luz solar, ela aumenta com a elevação, porque a atmosfera não absorve nem dispersa a energia de radiação, tanto quanto nas regiões mais baixas),
- Radiação ultravioleta intensa e mais elevada (em montanhas equatoriais mais altas, este efeito é controlado pelos frequentes nevoeiros e cobertura de nuvens),
- Mudanças rápidas na insolação, resultando em rápida absorção ou perda de calor,
- Efeito dos ventos (através do aumento da transpiração, a ponto de dessecação),
- Secura fisiológica (devido à combinação de baixas temperaturas, a transpiração intensa durante os períodos de sol e os efeitos de secagem dos ventos, juntamente com a acidez do solo e alta pressão osmótica elevada de água no solo fazendo raiz de absorção de água difícil), e
- Danos físicos causados pelo granizo e neve.

Devido a estes fatores, a atividade biológica possui funcionamento diferenciado, sendo algumas ações como a decomposição e o crescimento mais lentos, a produção primária é baixa e a sucessão natural da vegetação exige tempo maior. É importante salientar não ocorre sazonalidade de temperatura forte, nenhuma mudança significativa do verão para o inverno, como nas regiões temperadas (LUTEYN, 1999a).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo – Vulcão Cotopaxi

O vulcão Cotopaxi está localizado a $0^{\circ}40'38''\text{S}$ e $78^{\circ}26'10''\text{W}$, na Cordilheira Real equatoriana, a cerca de 70 km a sudeste da capital Quito (Figura 13), sendo o vulcão ativo mais alto do mundo. Cotopaxi, em língua Caribe significa “O Rei da Morte”, em Cayapa, língua inca nativa significa “Pescoço Ardente” ou “Trono da Lua”, em Quichua, “Massa de Fogo”, nome este dado ao parque onde está localizado (BARRIGA, 1988). O Parque Nacional Cotopaxi possui uma área total de 33.393 ha, sua elevação varia entre 3.350 e 5.897 metros acima do nível do mar (ANM), com um diâmetro basal de 20km, sendo composto por alguns vales entre montanhas altas, dentre estas o monte Rumiñahui.

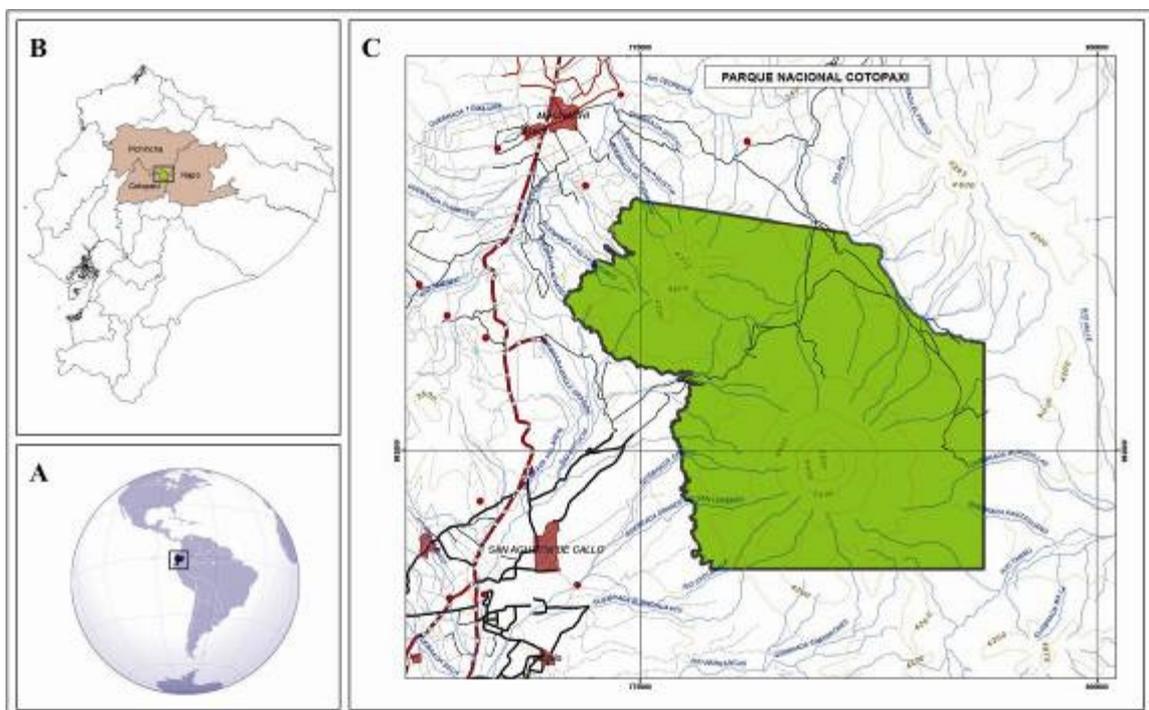


Figura 13. Mapa do Parque Nacional Cotopaxi, Equador (Adaptado de MAE, 2010).

O relevo do parque é bem diverso, indo de regiões planas nas áreas de Limpo (lago Limpiopungo) e próximo do rio Pita, até as regiões de encostas íngremes e paredes de cânions acentuadas, devido à erosão pela geleira e degelo, principalmente na encosta leste do parque (COELLO, 1996). Dentro desde se desenvolveu uma plantação de pinheiro de aproximadamente 1750 hectares, que se adaptou e criou micro habitats diferentes, causando mudanças na dinâmica do páramo, onde veados e muitas espécies de aves têm encontrado um excelente refúgio nas florestas da parte inferior (MESTANZA, 2009).

Os trabalhos se concentraram na encosta norte do Vulcão Cotopaxi, devido às condições de acesso dentro do parque, onde os pontos amostrais foram determinados em campo, e a partir da cota de 4.000 metros de altitude. Os trabalhos de campo foram realizados durante o mês de dezembro de 2010 e dezembro de 2011, por uma equipe de pesquisadores, juntamente com o suporte técnico do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Silvicultura da UFRRJ (Geoflora) e o Laboratório de Gênese e Classificação de Solo do Departamento de Solos da UFV.

3.2 Distribuição das Tipologias Vegetais

A vegetação ao longo da encosta do vulcão Cotopaxi varia de acordo com a altitude e temperatura, indo de porte médio, com presença de arbustos nas áreas de menor elevação até a área de neve, com ausência de vegetação.

O levantamento das tipologias foi realizado através de caminhamento ao longo da área de estudo. Os espécimes observados foram registrados através de fotografias de alta resolução, juntamente com suas respectivas coordenadas.

O material encontrado em campo foi classificado com base nos dados obtidos em literatura (SKLENAR & JORGENSEN, 1999; FOSTER et al., 1999; VÁSCONEZ et al., 2006; MESTANZA, 2009), juntamente com o ajuda de especialistas em classificação botânica do Ministério del Ambiente del Ecuador.

Com base no MDE, levantamento de dados e observações feitas em campo, foi gerado um modelo do terreno com a discretização das áreas de ocorrência da vegetação e suas transições ao longo do flanco norte do vulcão Cotopaxi.

3.3 Amostragem dos Solos

Para a realização da amostragem, foi realizado o estudo da área em escritório, utilizando-se como base a fotointerpretação do terreno, assim como a topografia e vias de acesso, visando assim à distinção e pré-caracterização do flanco norte do vulcãoelaborando um plano de ação e metas a serem realizadas durante as atividades de campo. O deslocamento no terreno foi feito parte em automóvel, onde as condições do terreno permitiam o movimento deste, e parte à pé, devido às condições do terreno instáveis e íngremes (Figura 14).

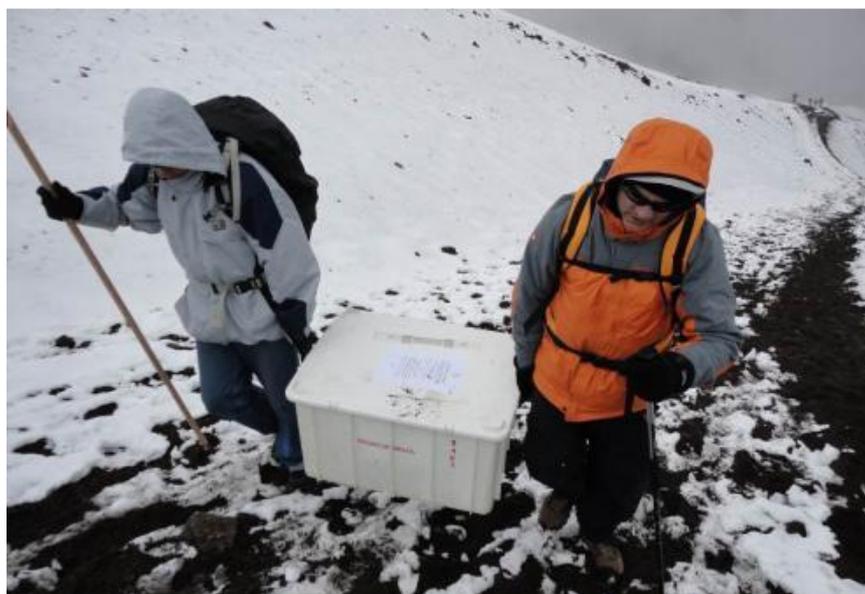


Figura 14. Deslocamento e transporte de equipamento ao longo da área selecionada, flanco norte da encosta do Vulcão Cotopaxi (Foto: ADNET, P.).

Os pontos amostrais foram selecionados a partir de observações de campo, onde foram considerados fatores como formação geológica, geomorfologia, vegetação e linha de neve, para obter um transecto (Figura 15) com seis pontos amostrais. Os pontos variaram de 3.979 a 4.885m, representando da melhor forma possível as variações ao longo da encosta e desta forma foram distribuídos os pontos de descrição e coleta de acordo com a climosequência.

Limitado pelas condições de acesso aos pontos de cota acima dos 4000m ANM, a área selecionada para os estudos foi o flanco norte da encosta do vulcão Cotopaxi, já que está permite o transito de veículos até elevações maiores (Figura 16). Os perfis de solos foram georreferenciados com o auxílio de um aparelho de GPS Garmin 76 CSx e descritos em corte de estrada ou em trincheiras, seguindo a metodologia do Guia para Descrição, Amostragem, Análise e Classificação de Solos para a Região com *Permafrost* (BOCKHEIM et al., 2006), sendo feitas adaptações quando necessário devido a particularidades da área estudada.



Figura 15. Perfil topográfico do flanco norte do vulcão Cotopaxi e a distribuição dos pontos amostrais ao longo da encosta.

Para a classificação dos solos e coleta de amostras para as análises físicas, químicas e mineralógicas, longo do transecto foram abertas trincheiras nos pontos amostrais (CTX 1 a CTX 6). Nas trincheiras (Figura 17), também foram verificadas e registradas a presença, profundidade e condição da camada ativa e do *permafrost*. Informações pertinentes para a avaliação e inferências quanto à presença de processos criopedogênicos nos sítios estudados.

Os resultados foram extrapolados e vetorizados utilizando-se o programa ARCGIS 10. Para a elaboração dos mapas temáticos foi utilizada imagem espacial do satélite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução espacial de 15m de em 16 de outubro de 2006, obtida junto ao *Global Volcanism Program* (Programa de Vulcanismo Global) do Instituto Smithsonian, e base cartográfica adquirida junto ao Instituto Geográfico Militar Equatoriano na escala de 1:50.000.



Figura 16. Aspecto geral do terço médio-superior do flanco norte do Vulcão Cotopaxi.



Figura 17. Descrição de perfil e coleta de amostras em trincheira (Foto: ADNET, P.).

3.4 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O modelo digital de elevação (MDE) é uma representação digital de uma seção da superfície gerado através da interpolação de coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação, produzindo um mapa que representa as variações de elevação do terreno. Sua qualidade e representatividade são diretamente influenciadas pela precisão e fonte de aquisição dos dados.

Os MDEs hidrologicamente consistentes devem permitir a representação de discontinuidades da superfície, como os divisores de água e as vertentes, evitando suavização e ocorrência de depressões espúrias (FIDALGO et al., 2009). Os diferentes atributos passíveis de obtenção em um MDE podem dar suporte à classificação da paisagem, fornecendo uma segmentação da mesma em ambientes topográficos distintos. Sendo estes de suma importância para os estudos de solos, já que o movimento da água na paisagem é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo. Desta forma, compreender as formas do relevo permite a realização de inferências e previsões sobre atributos do solo em diferentes segmentos de vertentes (SIRTOLI et al., 2008).

Como base de dados foram usadas cartas topográficas disponibilizadas pelo Instituto Geográfico Militar do Equador (IGM), compostas por três cartas, Machachi (IGM, 2011), Cotopaxi (IGM, 2011a) e Sincholagua (IGM, 2011b), todas na escala 1:50.000. Foram extraídas informações de hidrografia, curvas de nível e pontos cotados, passando por um processo de averiguação de sua continuidade, com correções quando necessário.

Como parte da área do parque (cerca de 5%) não tem carta topográfica foram usados dados do satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 90m, obtido gratuitamente junto a NASA (NASA, 2011). Estes foram transformados para pontos e redimensionados para 30m de resolução. A interpolação foi realizada através da ferramenta *Topo to Grid*, no ArcGIS 10[®], esta interpolação considera não somente os dados de elevação, mas modifica a superfície pela direção da drenagem, possibilitando a suavização do modelo e aumento da precisão através da prospecção de um modelo hidrológicamente consistente (CHAGAS, 2006), obtendo assim um MDE proveniente de fontes distintas.

Mesmo com a possibilidade de uso do SRTM para toda a área do Parque Nacional Cotopaxi, tal não foi feito, pois segundo Jarvis et al. (2004) podem ocorrer erros sistemáticos relacionados aos dados gerados por esse sistema. De acordo com Chagas (2006), os MDEs do SRTM não são editados previamente à sua disponibilização, portanto podem conter erros grosseiros oriundos de ruídos e falhas, principalmente para as áreas mais íngremes, mesmo este sendo um sensor ativo, que atua na região de micro-ondas do espectro eletromagnético, não sendo influenciado pelas variáveis climáticas, como nuvens e raios (DIXON, 1995).

3.5 Mapeamento da Geoforma

A descrição geomorfológica local do Vulcão Cotopaxi foi realizada através da visualização de campo, para feições mais sutis e observações dos perfis descritos. Para a descrição macro, onde é necessária uma observação mais abrangente, foi utilizada análise computadorizada com base no MDE gerado, com auxílio do programa ArcGIS 10[®] (ESRI, 2011). Foram analisadas as seguintes características dentro da paisagem: Elevação, Declividade, Curvatura, Face de exposição e Radiação.

Altitude – Este representa as variações da elevação do terreno ao longo da paisagem. A esta variação na elevação leva a alterações na condição de exposição do terreno e em suas condições, podendo ser exemplificado pela redução da temperatura em aproximadamente 0,67°C a cada 100m de altitude na região andina (CONDESAN, 2009), sendo os valores encontrados variáveis e condicionados de acordo com o local e seu respectivo micro clima. Esta alteração dentro do equilíbrio da montanha e de sua capa de gelo implica em uma maior taxa de degelo e um maior volume de água livre, agindo sobre a pedogênese dos solos ao longo da encosta da montanha. A posição ao longo da encosta também interfere nas condições hidrológicas, como escoamento superficial e sub-superficial.

Declividade – O atributo de declividade é a primeira derivada do MDE, obtida diretamente através do comando *Slope*. Este representa a máxima taxa de mudança entre células, representando a inclinação da paisagem e sua estabilidade. Este atributo determina quão intenso é o movimento da água na vertente, como paisagens mais declivosas sofrem maiores influências dos processos erosivos e são modificadas mais intensamente do que áreas de menos declivosas, isso afeta os processos pedogenéticos e de formação de paisagem. O mapa de declividade foi classificado de acordo com o guia de descrição de solos (FAO, 2009), descrito na tabela 4.

Curvatura das vertentes – Já a curvatura é uma segunda derivada do MDE, já que para o processamento do mesmo são geradas duas grades, uma para o perfil de curvatura e

outra para o plano de curvatura, resultando assim a curvatura do terreno, esta que é classificada como côncava, retilínea ou convexa, obtida pela ferramenta *Curvature*.

Este atributo faz inferência sobre o comportamento do escoamento da água na vertente, já que a forma com que a água se movimenta através da topografia influencia diretamente na formação da paisagem, e o estudo deste auxilia na interpretação das características morfológicas da paisagem como susceptibilidade à erosão, escoamento superficial e fluxo.

Tabela 4. Classes de declividade (Adaptado de FAO, 2009).

Classes de declividade (%)	Classificação (FAO)
0 - 1 %	Plano
1 - 2 %	Muito Suavemente Inclinado
2 - 5 %	Suavemente Inclinado
5 - 10 %	Inclinado
10 - 15%	Fortemente Inclinado
15 - 30%	Moderadamente Íngreme
30 - 60%	Íngreme
>60%	Muito Íngreme

Faces de orientação das vertentes – A face de exposição (*aspect*) pode ser entendida como a direção da declividade, representado por valores em graus variando de 0 a 360, medidos a partir do norte em sentido horário. Importante para interpretações quanto à face de exposição ao sol, temperatura, umidade, entre outros atributos do terreno, assim como a ação dos ventos. Alguns trabalhos mostram que a face de exposição podem gerar diferenciação nas propriedades do solo nelas desenvolvidos (FERREIRA et al., 2005) e terminar a formação de tipos de solos diferentes na face sul e norte (HUNCKLER & SCHAETZL, 1997) . Desta forma, através da ferramenta *Aspect*, foi obtido os resultados referentes às faces de exposição, sendo este derivados do MDE. No vulcão Cotopaxi, devido à influência dos ventos úmidos oriundos da bacia Amazônica, a face leste apresenta a linha de neve mais baixa que nas outras faces, isso afeta toda a dinâmica da paisagem, alterando temperatura, precipitação, congelamento e degelo, e processos de formação da paisagem.

Radiação – É a quantidade de energia que chega a superfície da Terra na forma de radiação de ondas curtas, após sofrer interações com a atmosfera. Esta é dependente de diversos fatores como a latitude, altitude, ângulo da paisagem em relação ao sol, assim como fatores atmosféricos como quantidade de vapor presente no ar e nebulosidade. A radiação também esta ligada ao balanço energético dentro da dinâmica da geleira, já que este representa a entrada de energia no sistema, alterando as condições de temperatura, congelamento e degelo das mesmas.

Para elaboração do mapa de radiação executou-se a ferramenta *Area Solar Radiation*. Geralmente, a maior componente da radiação é a direta, seguida pela difusa. A radiação refletida constitui apenas uma pequena porção do total de radiação. Por isso, a ferramenta *SpatialAnalyst Tools* não inclui radiação refletida no cálculo do total de radiação, somente a radiação direta e difusa. O cálculo da radiação global foi obtido para a área de estudo, para 365 dias do ano de 2011, baseado no algoritmo desenvolvido por RICH et al. (1994) e modificado por FU e RICH (2000). Essa simulação envolve uma representação *raster* que exibe a posição aparente do Sol, calculada com base na latitude da área de estudo e variando de acordo com a hora do dia e os dias do ano. Não considera outras variáveis climatológicas como precipitação, céu encoberto, entre outras.

3.6 Análise Petrográfica

Para as análises petrográficas foram coletadas amostras de rochas de forma aleatória ao longo da encosta do vulcão, visando a representação da paisagem e do material de origem, possibilitando assim a obtenção de amostras oriundas de diferentes períodos de deposições. A análise petrográfica foi realizada de forma a dar suporte para as interpretações dos dados mineralógicos, compreendendo assim o material de origem e sua composição.

Para cada amostra a descrição petrográfica foi dividida em duas partes, a descrição macroscópica e a descrição microscópica. Para a realização deste procedimento, foram selecionadas 10 amostras (01 a 10), sendo estas classificadas como “MA” para as análises macroscópicas (MA-01 a MA-10) e “MI” para as análises microscópicas (MI-01 a MI-10).

Após a caracterização macroscópica das amostras, foram confeccionadas lâminas para análise petrográfica microscópica seguindo o seguinte procedimento:

- Corte de uma seção da rocha amostrada, com aproximadamente 45 x 20 x 05 mm.
- Fixação, com araldite, desta seção sobre lâmina de vidro.
- Desbaste com óxido de alumínio (100#, 250#, 500# e 1000#), até a seção alcançar 0,03mm de espessura (a espessura é controlada pela utilização de um microscópio, observando-se um mineral de cor de interferência conhecida para esta espessura).
- Cobertura da lâmina com lamínula de vidro.
- Inscrição do código da amostra na lâmina petrográfica.

As observações e análises das lâminas foram realizadas em microscópio Olympus, modelo BX40F – 3, em nicol paralelo e cruzado.

3.7 Análise Mineralógica

Durante a descrição dos solos nos pontos amostrais selecionados ao longo da toposequência da encosta do vulcão Cotopaxi (Figura 17), foram coletadas amostras de solo dentro de cada perfil descrito, sendo coletada uma amostra a cada camada diferenciada.

Foram realizados estudos da mineralogia para a fração silte e argila para todos os perfis descritos e seus respectivos horizontes e camadas, através de difratometria de raio X. As amostras foram extraídas por sifonamento em água deionizada, sem o uso de substâncias dispersantes. As lâminas montadas e analisadas por difratometria de raio-X com o uso de um equipamento PANalytical X'Pert pro, utilizando-se radiação CoK α , com ângulo de varredura de 4 a 50 °2 θ . Os resultados foram analisados com a ajuda do programa RaioX v.1.0.0.37, desenvolvido por Fernandes Filho & Abrahão, e os minerais identificados conforme Chen (1977) e Resende et al. (2005). Os resultados obtidos através da mineralogia darão suporte e embasamento para interpretação dos resultados químicos, além de permitir a distribuição do material e sua composição ao longo das diferentes atividades do vulcão.

3.8 Análises Físicas e Químicas

Seguindo a mesma metodologia usada para a coleta das amostras para as análises mineralógicas, a amostragem para análise química e física foi realizada dentro de cada perfil descrito, sendo coletada uma amostra a cada camada diferenciada.

As amostras coletadas foram preparadas para a realização das análises, sendo secas e realizada a separação da fração <2mm (TFSA). A determinação física do material foi realizada conforme EMBRAPA (1997) utilizando dispersão mecânica, obtendo através de sua granulometria as classes texturais. A cor do solo foi obtida em amostras de TFSA utilizando-se a carta de Münsell (MÜNSELL, 1994).

Durante as análises químicas foram determinados os valores para pH em H₂O e KCl. Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis, foram extraídos por solução de KCl 1 mol/L e Na⁺, K⁺, P e Fe extraídos pelo extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997), sendo este também utilizado para a determinação de metais pesados, Cr, Ni, Cd e Pb. Os valores para Al³⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ e Fe³⁺ nos extratos foram determinados em ICP, os de K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama e os de P por fotolorimetria pelo método do ácido ascórbico de MURPHY e RILEY (1962). Os valores para H+Al foram determinados através do extrator acetato de cálcio (0,5mol/L e pH 7,0); e Matéria Orgânica (MO), através do resultado do cálculo, MO = C. Org x 1,724 (WALKLEY & BLACK, 1934).

Através destes foram calculados os valores referentes à Soma de Bases Trocáveis (SB), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t) e Capacidade de Troca Catiônica (T), Índice de Saturação de Bases (V), Índice de Saturação de Alumínio (m), Índice de Saturação de Sódio (ISNA).

3.9 Sistema de Coleta e Armazenamento dos Dados de Temperatura do Solo

Foram instalados três sistemas de coleta e armazenamento de temperatura do solo e do ar em três altitudes ao longo do flanco norte do vulcão, de forma a se avaliar o comportamento e variações das temperaturas ao longo do perfil do solo e da toposequência.

Foi utilizada como referência para a instalação, a linha de neve do mês de dezembro de 2010, ficando um sistema abaixo, um sobre e um acima da linha de neve, próximo ao glaciar. Para cada perfil de solo, foi montando o seguinte conjunto de equipamentos:

- 5 sensores de temperatura modelo 107 da Campbell Scientific;
- 1 sensor de temperatura modelo 106 da Campbell Scientific;
- 1 Data logger modelo CR 1000 da Campbell Scientific; e
- 1 Bateria Power Safe de 92 amperes.

Cada sistema ficou acondicionado em caixa de PVC lacrada e parcialmente enterrada, evitando qualquer perturbação e entrada de água. As profundidades para instalação dos sensores foram de: 2, 10, 30, 50 e 100 cm, podendo variar de acordo com as condições do terreno. O sensor de temperatura do ar foi instalado a 100 cm da superfície do solo, sendo utilizado um sensor para cada sistema, de forma a registrar as variações térmicas do ambiente, com exceção do sistema localizado a 4.600 m, pois se tratava de área de grande movimento de pessoas e optou-se de não instalar para não chamar a atenção dos transeuntes.

Todos os sistemas foram devidamente georreferenciados, permitindo que sejam localizados durante os trabalhos de coleta dos dados. Os registros utilizados neste trabalho foram computados de dezembro de 2010 a dezembro de 2011, permanecendo os sistemas instalados para continuidade dos estudos e futuras coleta de dados.

Os dados das leituras com os sensores foram armazenados no DataLogger CR1000, sendo utilizado o programa PC 200W 4.0 da empresa Campbell Scientific e um notebook para a coleta dos dados. Os dados de temperatura foram coletados e armazenados a cada hora.

3.10 Classificação dos Solos

Após os resultados, os perfis descritos foram classificados seguindo os critérios do *World Reference Base for Soil Resources* (FAO, 2007) e *Keys to Soil Taxonomy* (USDA, 2010), sendo o primeiro um sistema que não leva em consideração o regime climático e a segundo classificação tem como base o regime climático da área. Estes sistemas foram adotados por permitir a classificação dos solos estudados, visto que os processos pedogênicos na área não são contemplados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vegetação

A vegetação do flanco norte do Cotopaxi é composta basicamente por espécies que compõem o ecossistema do páramo, apresentando alto grau de endemismo. A partir do modelo digital de elevação e de pesquisas realizadas na região ((SKLENAR & JORGENSEN, 1999; FOSTER et al., 1999; VÁSCONEZ et al., 2006; MESTANZA, 2009), foi elaborado o modelo de distribuição das tipologias na encosta do vulcão (Figura 18).

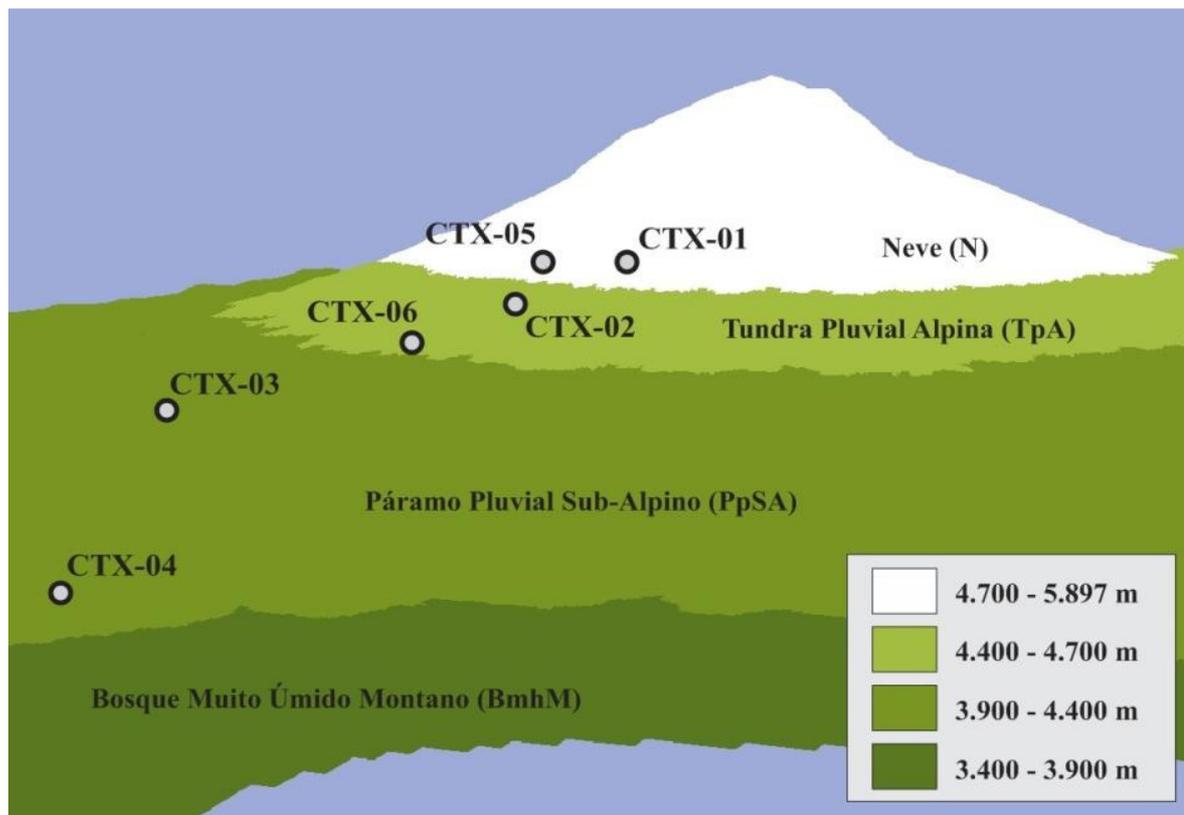


Figura 18. Modelo da encosta do Vulcão Cotopaxi (flanco norte), exemplificando a variação da vegetação ao longo do flanco norte, os limites de elevação e os pontos de coleta.

São apresentadas abaixo a classificação do material vegetal, com suas respectivas áreas de ocorrência, temperatura, pluviosidade e espécies encontradas.

Bosque muito úmido Montano (BmhM) - Representa a parte mais baixa do parque, se localiza entre 3400 e 3900m ANM, com temperaturas médias variando entre 6-12°C e precipitação entre 1000 a 2000mm.ano⁻¹. Esta área é também conhecida como "subpáramo Andino", sua principal característica é a presença de árvores deformadas e de pequeno porte. São bosques de difícil acesso e há pouca evidência desta tipologia dentro da área do parque, como a cratera Rumiñahui e o lado oeste do Cotopaxi. Isto se deve ao fato da ocorrência de atividades de pastoreio e queimadas anuais, embora nos últimos anos essas atividades foram reduzidas significativamente, colaborando para a recuperação deste ecossistema. As espécies que se apresentam em maior abundância são os musgo e stipa ichu, e em menor abundância *Halenia weddelliana* (Tarugacacho), *Gentiana sedifolia* (Lligllisisa-sachamor), *Bromus pubescens*, *Alchemilla orbiculata*, *Archirophorus quitensis*, *Pernetia sp.* *Chuquiragua*

jussieui(Chuquirahua) e *Lycopodium sp.* Nas partes mais baixas desta zona se encontram algumas espécies arbóreas como *Oreopanax andreanus* (Pumamaqui), *Prunus serótina* (Capulí) e *Gynoxys sp.* Yanachilca-chilca negra).

Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA) - Comprende as áreas entre 3900-4400m ANM (Figura 19), com temperatura média variando entre 3-6°C e precipitações entre 1000-2000mm.ano⁻¹. Também chamado de “grass páramo”, este ocupa boa extensão do parque (Figura 20), principalmente na base do Cotopaxi e Rumiñahui. Dentro de sua flora, ainda vemos a predominância de páramo, líquens e musgos, como exemplares de musgos podemos visualizar *Cryphaea ramosa*, *Didymodon rigidulus*, *Grimmia ovalis*, *Hypnum cupressiforme*, *Macromitrium laevisetum*, *Aloinella cucullifera*, *Barbula glaucescens*, *Barbula inaequalifolia*, *Leptodontium pungens*, *Mironia ehrenbergiana*, *Pseudocrossidium replicatum*, como exemplares de páramo *Plantago linearis*, *P. nubigena*, *P. rígida*. *Festuca flacca*, *F. soukupii*, *F. subulifolia*.



Azorella pedunculata



Calamagrostis intermédia

Figura 19. Espécies encontradas entre 3900 e 4400m ANM, nos sítios CTX-03 e CTX-04.



Figura 20. Linha de neve, evidenciando a divisória entre o Páramo Sub-Alpino e a Tundra alpina, abaixo e acima da linha de neve respectivamente.

Tundra pluvial Alpina (TpA) – Esta é localizada entre 4400 e 4700m ANM, as temperaturas variam em média de 1,5-3°C e as precipitações entre 1000 e 2000mm.ano⁻¹. Chamado também por “*superpáramo*” (Figura 21), a característica principal destas vegetações é a formação de colônias, já a incidência de gramíneas diminui, pois estas áreas se encontram sobre areia e sob neve (Figura 22) As principais representantes desta vegetação são as asteráceas como *Senecio microdon*, *Werneria pumila*, alguns líquens e musgos como *Polytrichum juniperinum*, *Racomitrium crispipilum*.

Através dos dados pode-se observar que a cobertura vegetal se apresenta intimamente controlada pela presença da camada de neve e a variação desta ao longo da encosta. Pontos com menores cotas, sem a presença de neve, apresentam maior cobertura vegetal, assim como maior variedade de espécies. De acordo com a elevação da cota e a presença de neve sobre o solo, a diversidade de plantas diminui drasticamente, sendo possível realizar a distinção destas visualmente, pois a coloração ao longo da encosta varia de acordo com a cobertura do solo.



Chuquiraga jussieui



Lupinus revolutus

Figura 21. Espécies encontradas entre 4400 e 4700m, nos sítios CTX-02 e CTX-06, adaptadas para resistir às condições impostas pelo ambiente.



Figura 22. Linha divisória entre a área permanentemente coberta de gelo e a área de Tundra alpina, onde a linha de neve das áreas permanentemente congeladas possuem sazonalidade dependente dos fatores climáticos.

No Cotopaxi, a neve começa a surgir por volta dos 4800m, podendo esta variar de acordo com a face de exposição da encosta e as condições meteorológicas do ano. Nessas áreas não existe nenhum tipo de vegetação superior (Figura 23), sendo encontrados alguns tipos de organismos extremófilos, como musgos e líquens, mantendo suas atividades sobre rochas, já que o solo se mantém coberto de neve (Figura 24).



Racomitrium (Grimmiaceae)



Blakiellasp (Asteraceae)

Figura 23. Organismo extremófilos encontrados no sitio CTX-01, acima dos 4850m, sendo a *Blakiella ssp.* uma espécie endêmica.

Este padrão também é observado nos tipos de solo, onde a vegetação de maior porte e diversidade foi observada na região do perfil CTX-04. Este solo apresenta maiores indícios de desenvolvimento, com presença de horizontes enterrados, comprovados pela presença de material saprolítico em subsuperfície, mostrando que em épocas pretéritas também existiram condições para o desenvolvimento vegetal.



Figura 24. Aspecto geral do ambiente onde foram localizados os organismos extremófilos.

Mesmo com uma condição extrema, foi observada a ocorrência de organismos acima dos 4800m, sob um regime térmico rigoroso, baixa taxa de oxigênio e alto índice de radiação,

demonstrando uma grande capacidade de adaptação de algumas espécies, sendo classificados como extremófilos. O termo "extremófilo" foi usado pela primeira vez por MacElroy em 1974, para caracterizar os organismos capazes de se estabilizarem e se proliferar em ambientes extremos (SANTOS et al., 2001), que podem ir de áreas afetadas por aridez, salinidade, regiões sulfurosas, regimes térmicos polares ou fossas abissais superaquecidas.

4.2 Geofoma da Área de Estudo

Como a área de estudo apresenta relevo muito movimentado, chegando a apresentar em algumas regiões da encosta declividade superior a 60%, optou-se pelo método de interpolação de dados de múltiplas fontes. O resultado da interpolação dos dados IGM+NASA é apresentado abaixo (Figura 25).

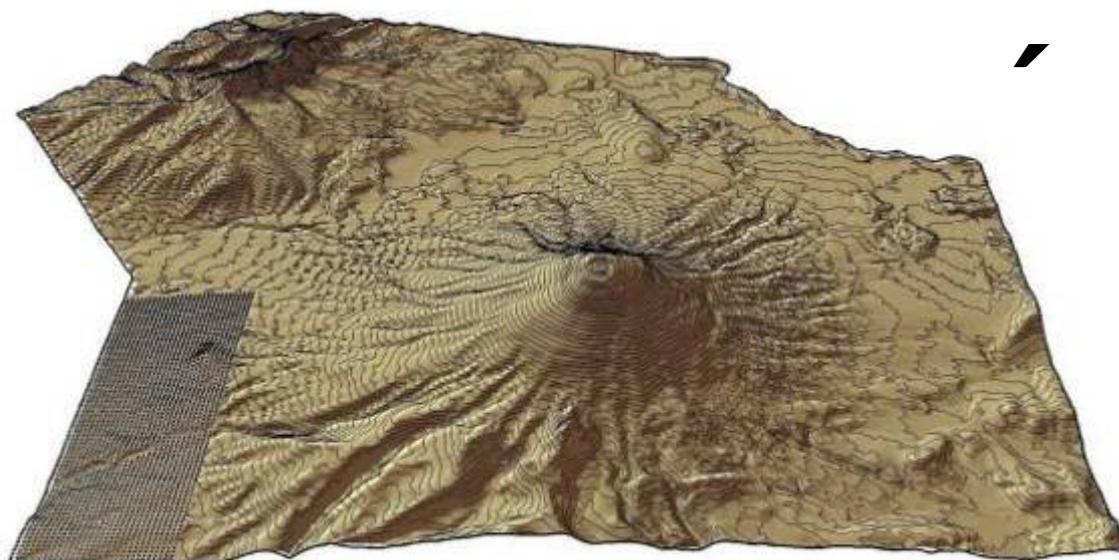


Figura 25. Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido através da interpolação dos dados do IGM e SRTM para a área do Parque Nacional Cotopaxi, Equador.

Os resultados obtidos através da interpolação de dados de diferentes fontes para o Parque Nacional Cotopaxi foram satisfatórios, gerando um modelo consistente e que representa bem as feições do terreno e suas variações. Como os trabalhos se concentraram ao longo do flanco norte do vulcão Cotopaxi, a análise foi realizada apenas nesta face da montanha (Figuras de 26 a 30).

De acordo com a localização dos pontos amostrais e sua posição ao longo da encosta foi realizada sua classificação, onde o ponto base referente à porção mais baixa do flanco norte, estando esta com elevação aproximada de 3800m e a porção mais alta, sendo este o cume do vulcão, 5897m. A encosta foi dividida em três partes, terços inferior, médio e superior, onde de acordo com as elevações, os pontos amostrais se encontram no terço inferior, inferior/médio, médio e médio/superior.

Quanto à declividade, os resultados são bem coerentes com a situação encontrada durante os trabalhos de campo, sendo a topografia bem movimentada, com inclinações superiores a 30%, predominando as classes: moderadamente íngreme e íngreme (Tabela 5). As regiões do terço inferior da montanha apresentam declividade mais suave, sendo enquadradas entre as classes, fortemente inclinado e moderadamente íngreme. A base do

vulcão apresenta uma grande planície, composta por áreas planas e regiões suavemente onduladas, podendo chegar a mais de 10% de declividade.

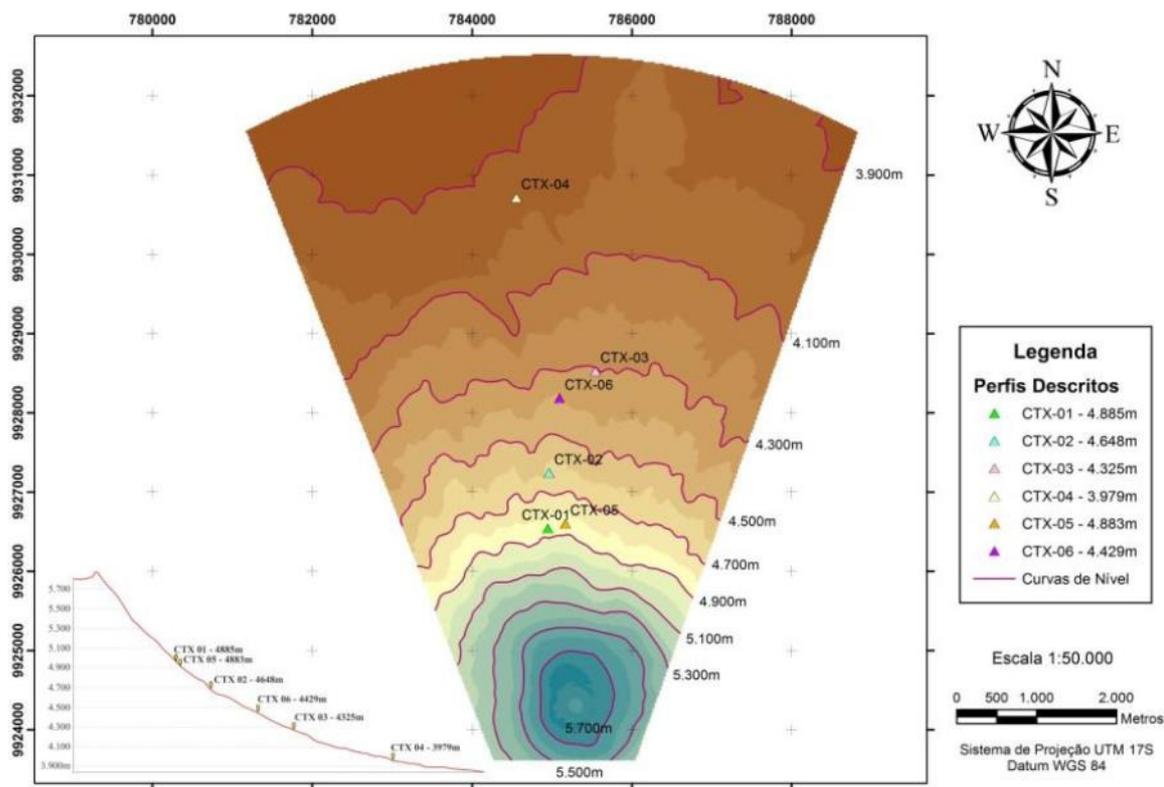


Figura 26. Modelo Digital de Elevação (MDE), e perfil topográfico com a distribuição dos pontos amostrais, situados no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

A geoforma encontrada na declividade da área de estudo (Figura 27), é característica de estrato vulcões, ou seja, vulcões que possuem o formato de cone simétrico, sendo tipicamente íngremes e de grande dimensão. Sua forma é gerada pela deposição de material em suas encostas durante as atividades vulcânicas, geralmente depositadas em camadas alternadas de fluxos de lava, cinzas vulcânicas, cinzas, blocos e bombas, podendo chegar a grandes elevações (USGS, 2010).

Tabela 5. Classificação das classes de declividade de sua ocorrência dentro da área de estudo.

Classes de declividade (%)	Classificação (FAO)	Ocorrência (%)
0 - 1 %	Plano	0,78
1 - 2 %	Muito Suavemente Inclinado	1,24
2 - 5 %	Suavemente Inclinado	8,01
5 - 10 %	Inclinado	17,23
10 - 15%	Fortemente Inclinado	12,47
15 - 30%	Moderadamente Íngreme	24,46
30 - 60%	Íngreme	28,14
>60%	Muito Íngreme	7,66

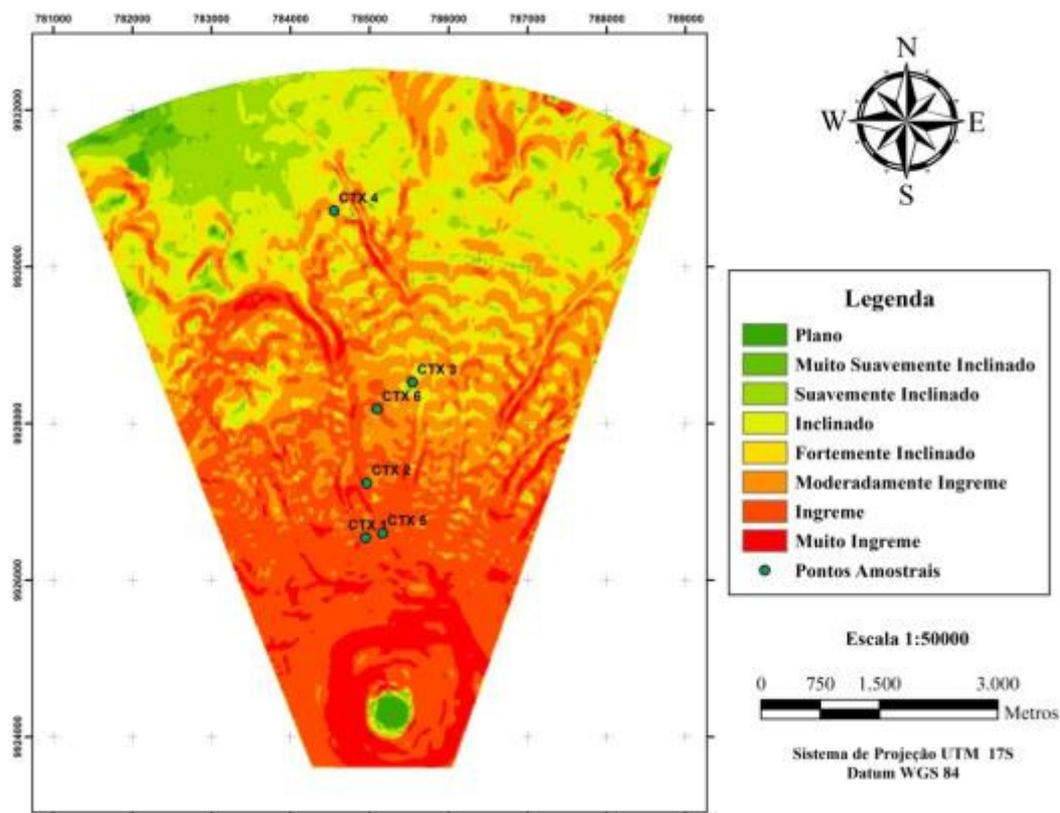


Figura 27. Mapa de classes de declividade do flanco norte do Vulcão Cotopaxi, segundo FAO (2009).

Apesar da análise da face de exposição ter se concentrado no flanco norte, mesmo sendo realizada em uma direção preestabelecida, o terreno possui diversas variações em seu perfil topográfico e apresentou diferentes faces de exposição. Estas variações se concentraram nas direções nordeste e noroeste, porém em alguns pontos específicos a variação foi maior, o que é explicado pela grande ocorrência de talvegues e sua sinuosidade, que ao analisarmos as direções das vertentes, percebe-se a constituição de dois padrões de exposição separados por uma faixa de sentido norte: um voltado mais ao sentido noroeste-oeste na parte mais ocidental e outra, mas oriente com predominância mais ao leste-nordeste. Em alguns pontos de maior sinuosidade, as paredes apresentam exposição no sentido sul-sudoeste (Figura 28).

Neste é possível visualizar orientação no sentido oeste-sudeste na porção esquerda do mapa. Esta geomorfologia evidencia a orientação da deposição do material piroclástico durante as últimas atividades, assim como o material transportado pelo lahars de 1877. Sendo este explicado pela direção dos ventos da bacia Amazônia. Ventos úmidos que fazem com que as geleiras situadas do lado leste-sudeste da montanha estejam presentes a partir dos 4600m.

Quando analisado o atributo de curvatura, foi adicionado o mapa de hidrologia, onde através da sobreposição de temas foi possível validar os resultados. Como a encosta apresenta grandes ravinas com movimentação de material, é dificultosa a interpretação deste atributo no campo, já que algumas ravinas presentes no local de estudo apresentam dezenas de metros. Os pontos amostrais foram enquadrados como superfície côncava, como este atributo não apresenta níveis intermediários entre classes, os valores próximos de zero, que representam uma condição próxima do plano (retilínea), são classificadas como côncava, generalizando os resultados e não classificando adequadamente as condições reais do terreno.

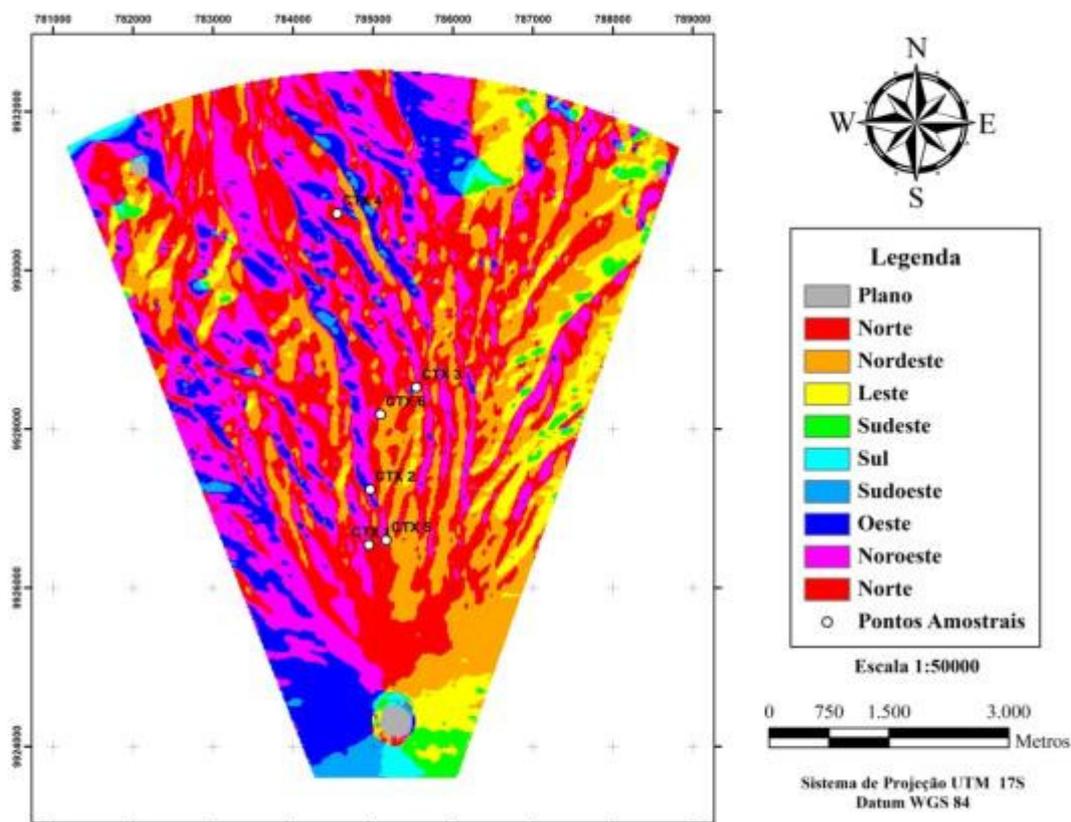


Figura 28. Mapa de faces de orientação para a área do flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

Os valores de radiação no Equador variam de 3,5 a 4KWh/m² nas regiões da costa e entre 4,5 e 5KWh/m² na região da Amazônia equatoriana. Na região serrana, que compreende a cordilheira andina, são encontrados valores de 4,0 a 5,5KWh/m², onde os pontos de menores cotas têm menor índice de radiação solar e os mais elevados os maiores valores (INAHIM, 2006). Os valores para os pontos amostrais foram classificados como baixos para radiação solar equatoriana, explicado pelo declive da vertente onde estão os pontos amostrais.

Como os valores de radiação solar decorrem da incidência dos raios solares sobre o solo, tanto a elevação quanto a declividade afetam seus valores. A declividade influencia o ângulo de incidência dos raios solares, e a relação entre o Zênite local e os raios solares é chamada ângulo zenital. Onde quanto maior o ângulo zenital, menor a irradiância solar. A elevação influencia os processos de atenuação da irradiância solar, onde quanto maior a elevação, o ar se torna mais rarefeito ocorrendo menor irradiação. Além dos efeitos da nebulosidade, umidade do ar e particulados dispersos, que agem como fatores de absorção e difusão, também afetando a irradiância solar.

A vertente apresenta declividade média superior a 30%, o que pode ser a razão para os valores baixos obtidos através das análises das feições do terreno. Os pontos amostrais de maior elevação apresentaram maiores valores de radiação, o que evidencia que a posição do terreno influenciou na incidência dos raios solares sobre o solo.

Mesmo as análises sendo feitas apenas no flanco norte do vulcão, o que implica que os efeitos são regidos por esta posição em relação a topografia geral do vulcão, as condições locais de inclinação e orientação, pode gerar condições específicas e microclimas. Cada ponto amostral apresentou uma orientação diferente, mostrando que há singularidades no terreno que podem gerar condições diferenciadas e impares dentro dos processos pedogenéticos. Os perfis seguem as características apresentadas na tabela 6.

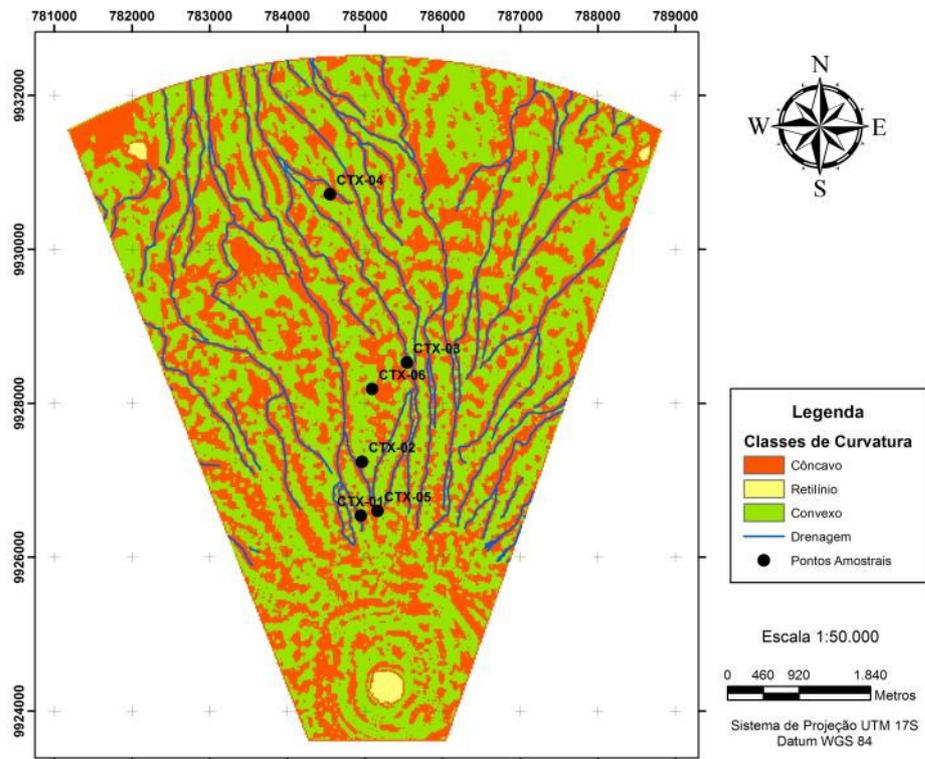


Figura 29. Mapa de classes de curvatura para a área do flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

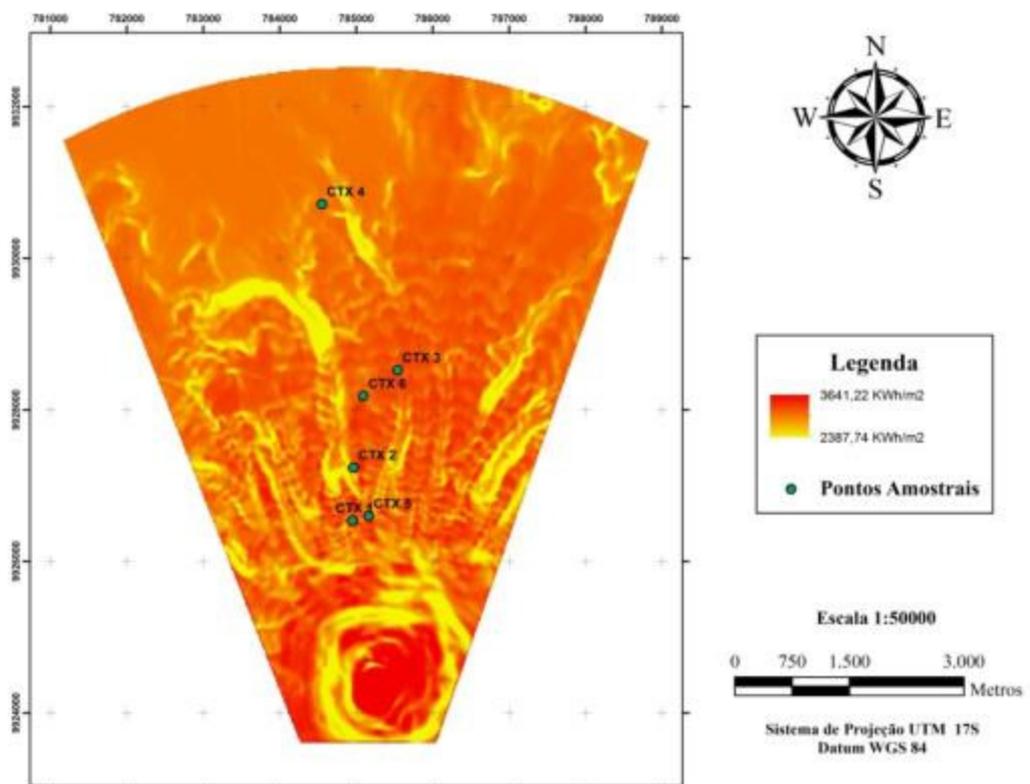


Figura 30. Mapa de radiação para a área do flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

Tabela 6. Valores médios e atributos do terreno obtidos através de análise geomorfológica digital.

Perfil	Elevação (m)	Posição	Declividade		Curvatura		Aspecto (orientação)	Radiação	
			(%)	Classificação	Valor	Classificação		(KWh/m ²)	Classificação
CTX 01	4858	Terço médio/ superior	39,7	Íngreme	0,431	Convexo	Noroeste	3174	Baixa
CTX 02	4626	Terço médio	45,8	Íngreme	0,810	Convexo	Oeste	3034	Baixa
CTX 03	4312	Terço inferior/médio	30,3	Íngreme	0,735	Convexo	Leste	3112	Baixa
CTX 04	3960	Terço inferior	17,9	Moderadamente Íngreme	0,312	Convexo	Sudeste	3101	Baixa
CTX 05	4857	Terço médio/ superior	44,8	Íngreme	1,088	Convexo	Sul	3139	Baixa
CTX 06	4411	Terço médio/ inferior	35,2	Íngreme	0,813	Convexo	Sudeste	3120	Baixa

4.3 Análise Petrográfica

Os resultados das descrições macroscópicas são apresentados abaixo:

MA-01 - Rocha parcialmente alterada (sem brilho), coberta por fina capa de oxidação avermelhada. A rocha com coloração preta, com textura porfirítica, contendo fenocristais finos de feldspatos imersos em matriz afanítica (provavelmente vítrea). A rocha é destituída de estruturas (isotrópica).

MA-02 - Rocha parcialmente alterada (sem brilho). A rocha de coloração esverdeada, com textura porfirítica, contendo fenocristais de finos a grossos de feldspatos, imersos em matriz afanítica (provavelmente vítrea). A rocha é destituída de estruturas (isotrópica).

MA-03 - Rocha parcialmente alterada (sem brilho). A rocha de coloração cinza claro, com textura porfirítica, contendo fenocristais finos de feldspatos e minerais máficos imersos em matriz afanítica (provavelmente, vítrea e granular). A rocha tem um bandamento (1-2 cm) denotado por variação granulométrica e composicional.

MA-04 - Rocha pouco densa, muito vesiculada e parcialmente alterada (sem brilho). A rocha de coloração preta, com textura afanítica, sendo, também, isotrópica. As vesículas compõem cerca de 75% do volume da rocha, sendo de diferentes tamanhos e formas.

MA-05 - Rocha pouco densa, muito vesiculada e parcialmente alterada (sem brilho). A rocha alterna faixas pretas e brancas. A textura é afanítica. A rocha tem um sutil bandamento denotado pela orientação das vesículas. As vesículas compõem cerca de 70% do volume da rocha, sendo de diferentes tamanhos e formas.

MA-06 - Rocha parcialmente alterada (sem brilho). A rocha é cinza esverdeada, com textura porfirítica, contendo fenocristais finos de feldspatos imersos em matriz afanítica (provavelmente, vítrea e granular). A rocha é isotrópica.

MA-07 - Rocha muito alterada (sem brilho e coberta com fino material de alteração amarelado e esverdeado). A rocha é preta, com textura porfirítica, contendo fenocristais finos de feldspatos imersos em matriz afanítica (provavelmente, vítrea e granular). Parte da rocha agrega litoclastos sem variação composicional. A rocha é isotrópica.

MA-08 - Rocha pouco densa, muito vesiculada e parcialmente alterada (sem brilho). A rocha é cinza, com textura afanítica, sendo, também, isotrópica. As vesículas compõem cerca de 75% do volume da rocha, sendo de diferentes tamanhos e formas..

MA-09 - Rocha parcialmente alterada (sem brilho). A rocha é preta, com textura porfirítica, contendo fenocristais de finos a grossos de feldspatos imersos em matriz afanítica (provavelmente vítrea). A rocha é destituída de estruturas (isotrópica).

MA-10 - Rocha pouco densa, muito vesiculada e parcialmente alterada (sem brilho). A rocha é cinza esverdeado, com textura afanítica, sendo, também, isotrópica. As vesículas compõem cerca de 70% do volume da rocha, sendo de diferentes tamanhos e formas.

Os resultados das descrições microscópicas para as lâminas petrográficas são apresentados abaixo:

MI-01 - Inequigranular porfirítica com matriz vítrea escura, pouco alterada, e fenocristais de Plagioclásio - Pg (0,8 mm, tabular, zonado, eu-subédrico, pouco corroído, geminação múltipla) >>Orto-piroxênio - OPX (1,0mm, subédrico, corrosão interna, geminado) >> óxido de Fe (provavelmente, magnetita; eu-subédrica). Os fenocristais de OPX têm bordas alteradas para tons marrons-avermelhados (provável oxidação) e há áreas que também apresentam áreas avermelhadas na matriz (Figura 31 A). Classificação: Andesito.

MI-02 - Inequigranular porfirítica com matriz granular muito fina (<<1mm), inalterada, e fenocristais Pg (0,5 mm, tabular, zonado, eu-subédrico, pouco corroído,

geminção múltipla) >>Opx (0,5mm, subédrico, corrosão interna, geminado) >> óxido de Fe (provavelmente, magnetita; eu-subédrica)>anfíbólio (provável hornblenda - Hb; verde, com clivagem basal a 120 graus). Fnx/Mtx~50/50 (Figura 31 B). Classificação: Andesito.

MI-03 - Inequigranular porfirítica com matriz granular muito fina (<<1mm), inalterada, e fenocristais Pg (0,5 mm, tabular, zonado, eu-subédrico, pouco corroído, geminação múltipla) >>Opx (0,1mm, subédrico, corrosão interna, geminado) >> óxido de Fe (provavelmente, magnetita; eu-subédrica). Fnx/Mtx~40/60 (Figura 32 A e B). Classificação: Andesito.

MI-04 - Rocha vesiculada (vesículas com diferentes tamanhos e formas) com matriz vítrea marrom e cristaloclastos pouco fragmentados de Pg>>Px. Escória. Provável vulcanismo Havaiano-Vulcânico (baixa energia) subaéreo (Figura 33 A). Classificação: Escória.

MI-05 - Mistura heterogênea de dois magmas (Figura 33 B), um mais félsico (muito Pg) e outro menos félsico (Pg + Anf). Classificação: Escória compactada.

MI-06 - Inequigranular porfirítica com matriz vítrea escura, inalterada, e fenocristais Pg (0,8 mm, tabular, zonado, eu-subédrico, pouco corroído, geminação múltipla) >>Opx (1,0mm, subédrico, corrosão interna, geminado) >> óxido de Fe (provavelmente, magnetita; eu-subédrica). Os fntx de OPX têm bordas alteradas para tons marrons-avermelhados (provável oxidação) e há áreas avermelhadas também. na matriz. Raros fragmentos de lava andesítica menos félsica. Classificação: Andesito.

MI-07 - Duas camadas; sendo uma mais fragmentada e vesiculada e outra um cumulado de Pg (Figura 34 A). Classificação: Autobrecha.

MI-08 - Rocha vesiculada (vesículas com diferentes tamanhos e formas) com matriz vítrea marrom e cristaloclastos pouco fragmentados de Pg>>Px. Escória. Provável vulcanismo havaiano-vulcânico (baixa energia) subaéreo (Figura 34 B). Classificação: Escória.

MI-09 - Inequigranular porfirítica com matriz vítrea escura, inalterada, e fenocristais Pg (0,8 mm, tabular, zonado, eu-subédrico, pouco corroído, geminação múltipla) >>Opx (1,0mm, subédrico, corrosão interna, geminado) >>óxido de Fe (provavelmente, magnetita; eu-subédrica). Classificação: Andesito.

MI-10 - Rocha vesiculada (vesículas com diferentes tamanhos e formas) com matriz parcialmente vítrea (alterada para material marrom e esverdeado) e parcialmente granular feldspática (Pg<<0,1mm) e cristaloclastos pouco fragmentados de Pg>>Px. Escória. Provável vulcanismo havaiano-vulcânico (baixa energia) subaéreo. Classificação: Escória.

Através da análise petrográfica pode-se inferir algumas características dos derrames e composição da lava do vulcão Cotopaxi. O vulcanismo efusivo (derrames de lava) andesítico é característico deste vulcão, sendo perceptível em sua composição a abundância de fenocristais de plagioclásio e, muito subordinadamente, piroxênios.

A matriz que compõem as rochas se apresenta tanto como vítrea quanto granular, isso pode ser decorrente de derrames espessos e/ou intrusões subordinadas. A presença de diferentes graus de alteração em algumas amostras, como a MI - 09, onde não é visível a presença de ações intempéricas, estando esta praticamente inalterada. Garrison et al. (2011) realizaram análises de macro nutrientes, elementos traços e Sr, em material lixiviado e não-lixiviado, de forma a avaliar a ação intempérica sobre as rochas coletadas no vulcão Cotopaxi. Seus resultados mostram que o intemperismo teve efeitos mínimos sobre as rochas, podendo este ser gerado devido à situação geomorfológica do terreno, que apresenta uma alta elevação, baixas temperaturas e baixo índice de precipitação.

A amostra MI - 05 apresenta mistura de lavas andesíticas, com tipos máficos (Mg + Fe; matriz escura, devido a coloração dos metais que a compõe) e félsicos (Na + K; matriz

clara), mostrando variação no material expelido pelo vulcão, conseqüentemente uma maior variação no material que o compõe.

As amostras classificadas como escórias são resultantes de vulcanismo pouco explosivo subaéreo ou mesmo não explosivo (porção mais vesiculada dos derrames de lava). Juntamente com o alinhamento dos fenocristais de plagioclásio vistos na amostra AM 03, caracterizam um derrame efusivo durante as últimas atividades do vulcão. Confirmado pela ausência de processos piroclásticos, como cristaloclastos muito fragmentados, este também não apresenta evidência de hidrovulcanismo (ou freatomagmatismo), isto é, interação lava e água durante as atividades do vulcão.

Os andesitos são rochas de composição intermediária, variando de 52 a 63% de SiO₂. Garrison et al. (2011) apresentam a composição do material que compõe o flanco norte do vulcão Cotopaxi, a determinação da composição do material realizada através de espectrometria de massa (ICP-MS) e são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Composição geral das rochas do flanco norte do vulcão Cotopaxi (Adaptado de Garrison et al., 2011).

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Total*
	%										
Rocha CYX 96	57,58	18,19	0,83	7,28	0,12	7,0	3,48	1,46	4,05	0,21	100,2
Lava CTX 95	57,29	19,37	0,69	5,39	0,09	7,84	3,2	1,26	3,99	0,19	99,31

*A variação encontrada nos valores totais é causada pela acurácia do equipamento durante a análise.

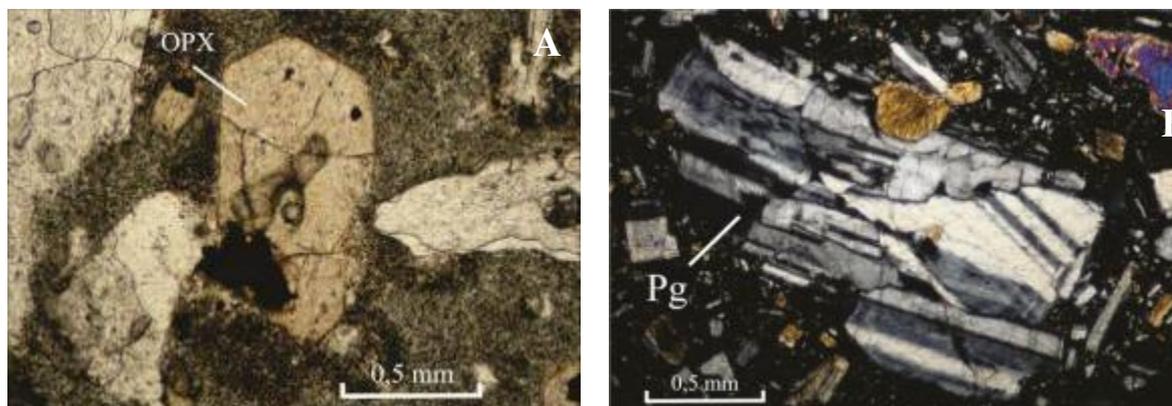


Figura 31.A – Fenocristal de orto-piroxênio (OPX) com bordas alteradas por oxidação, Nicol paralelo (NC//); B- Fenocristais de plagioclásio (Pg), zonado sem evidência de alteração, Nicol cruzado (NCX).

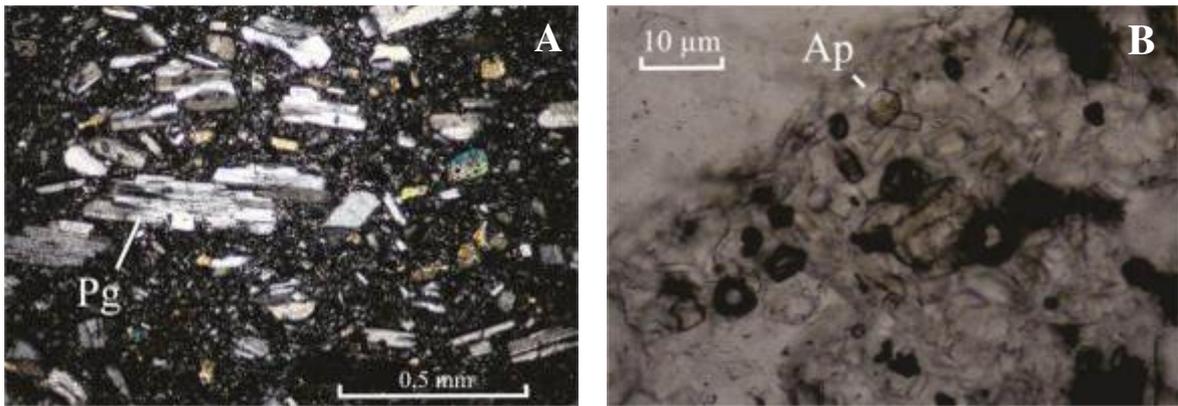


Figura 32. A- Matriz granular muito fina com fenocristais de Pg alinhados, caracterizando derrame efusivo, NCX; B - Grãos de apatita (Ap), hexagonais e prismáticos na matriz da rocha, NC//.

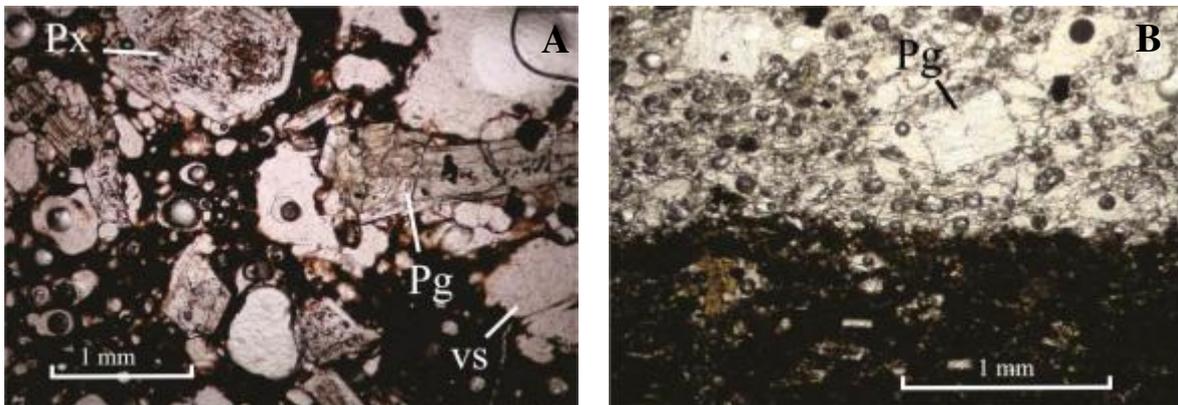


Figura 33. A - Cristaloclastos pouco fragmentados de Pg e Px com vesículas de diferentes formas e tamanhos (vs), NC//; B - Superfície de contato entre as duas lavas, uma félsica, com coloração clara e uma máfica, de coloração escura, NC//.

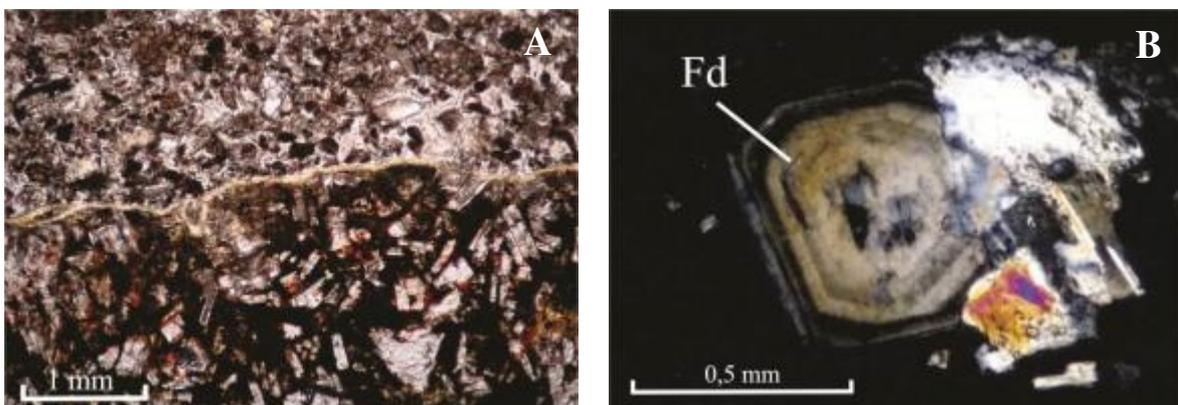


Figura 34. A - Contato entre o cumulado e a porção vesiculada e mais fragmentada, processos intempéricos caracterizados pela coloração de tons alaranjados (ferruginoso), NC; B - Fenocristal de feldspato zonado (Fd), NCX.

Os Andesitos têm sua petrogênese oriunda de três processos, do derretimento da crosta subductada contendo material de sedimentos, da hidratação do Peridotito derretido e cristalização fracionada ou da mistura entre magma Riolítico félsico e do Basáltico máfico em um reservatório intermediário antes da erupção (GARRISON et al., 2011).

De acordo com as lâminas observadas, esse processo também é a fonte do Andesito analisado, onde podemos constatar na lâmina da figura 33 B, o nítido contato entre o material félsico e máfico. A gênese deste ocorre com a fusão e assimilação de material da crosta terrestre (5 a 20%), seguido pela cristalização dos Anfibólios, Plagioclásios, Olivinas e Piroxênios. Durante a ascensão, o magma Andesítico se mistura e ocorre a extração de Riolito líquido, que interrompem de forma intermitente ou geram reservatórios, sendo esta a origem das diferentes composições de material expelido durante as erupções do Cotopaxi (GARRISON, et al. 2011).

Mesmo sendo amostras aleatórias ao longo da encosta, estas mostraram que os derrames das ultimas atividades foi homogêneo, apresentando composição semelhante entre as amostras, sendo composta basicamente de rochas andesíticas, riolíticas e brecha vulcânica.

4.4 Análises Mineralógicas

Os difratogramas obtidos apresentaram uma grande similaridade de materiais ao longo das camadas e/ou horizontes descritos. Como é possível observar na figura 35, a variação ocorre apenas na intensidade dos picos, sendo os valores homogêneos, mostrando que a composição mineralógica ao longo dos perfis é basicamente a mesma.

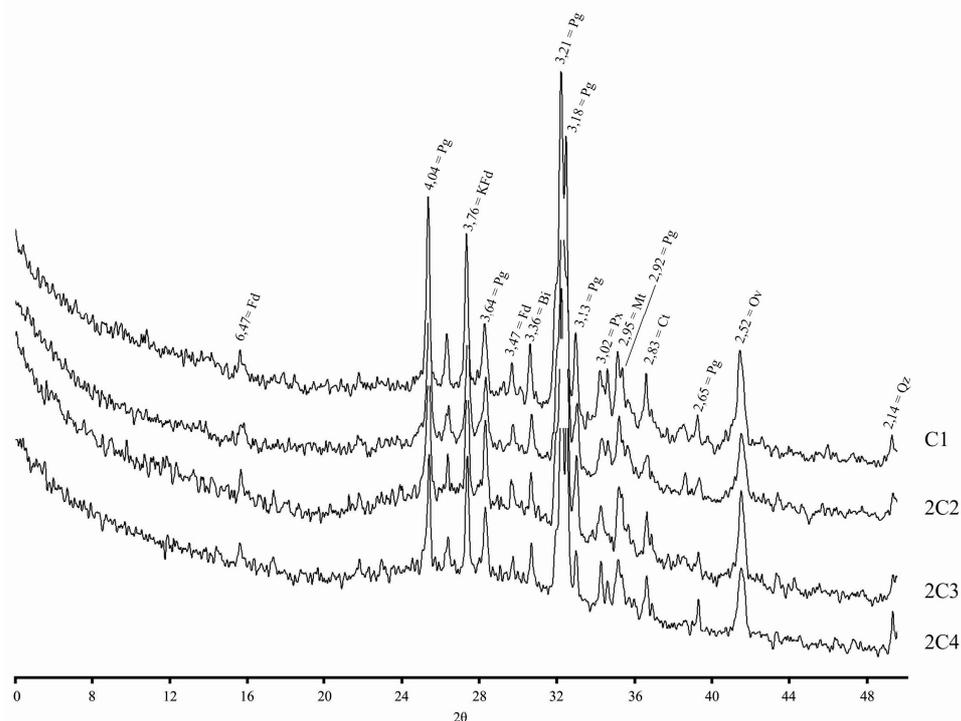


Figura 35. Difratograma de raio X da fração silte do Perfil CTX 01. Minerais: Fd= Feldspato, KFd= K-Feldspato, Pg= Plagioclásio, Bi= Biotita, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

Quando comparados os valores obtidos entre perfis, estes apresentam a mesma tendência, não demonstrando variações mineralógicas entre si. A figura 36 apresenta a

sobreposição dos difratogramas referentes aos seis perfis descritos, onde foram selecionados os horizontes que não apresentavam interferência externa em sua composição.

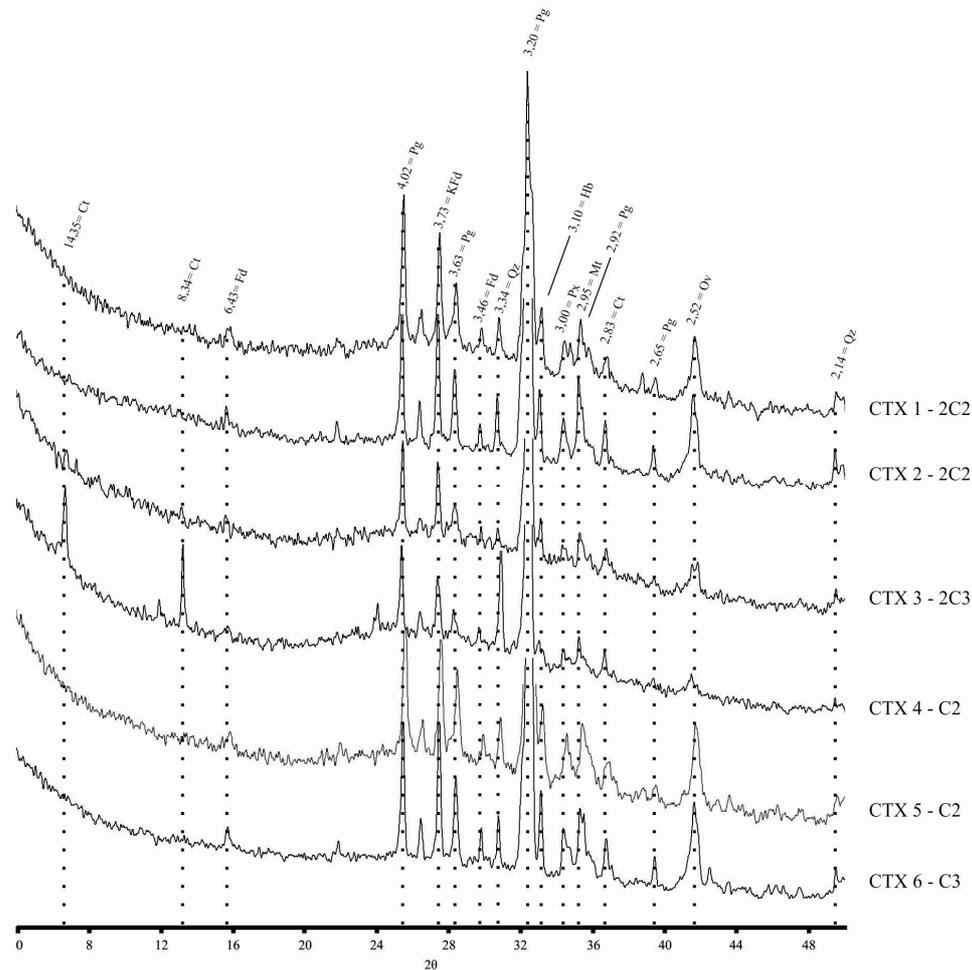


Figura 36. Comparação dos difratogramas de raio X da fração silte entre os perfis e os minerais encontrados. Minerais: Ct= Clorita, Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Qz= Quartzo, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina.

Os picos de maiores intensidades e comuns em todos os perfis foram os Feldspatos (Fd), Plagioclásios (Pg), Piroxênios (Px). Também comum a todos os perfis, mas apresentando picos com menor intensidade tem-se as Hornblendas (Hb, família dos Anfibólios), Olivinas (Ov, Olivina andesitos), Biotita (Bt) e Quartzo (Qz). Em alguns perfis foram observadas a ocorrência de alguns minerais de forma isolada, como a Clorita (Ct), a Magnetita (Mt) e a Ilita (It). Essa ocorrência pode estar relacionada à posição na paisagem, tanto com relação à distribuição do material durante o extravase vulcânico, quanto à ação intempérica sobre os minerais.

A Clorita é um mineral secundário produto da alteração de silicatos que contém alumínio, ferro e magnésio, como os Piroxênios, os Anfibólios e a Biotita, minerais com abundante presença no material que compõe a área. Como o CTX-04 se localiza em uma porção mais baixa na paisagem, por volta dos 4000m, as condições climáticas se caracterizam por temperaturas mais elevadas e índices pluviométricos maiores, quando comparados aos outros perfis descritos. A presença de um mineral secundário demonstra a ocorrência de

processos intempéricos, mesmo que sutis, ao longo deste perfil, já que o horizonte 2A2 se encontra entre 35 e 55 cm de profundidade.

Nas figuras de 37 a 43 são apresentados os resultados referente a cada perfil. Como o material presente no flanco norte do vulcão Cotopaxi é composto por material de granulometria grosseira, as lâminas para a leitura de raio X foram confeccionadas com a fração silte, sendo utilizada a fração argila quando presente.

Os perfis CTX-04 e CTX-06, por apresentarem fração argila, possuem difratogramas para ambas as frações. Como a análise mineralógica intra perfil não mostrou diferença, é apresentado um difratograma por fração para perfil, sendo estes determinados através da melhor expressão da presença de sua composição mineralógica.

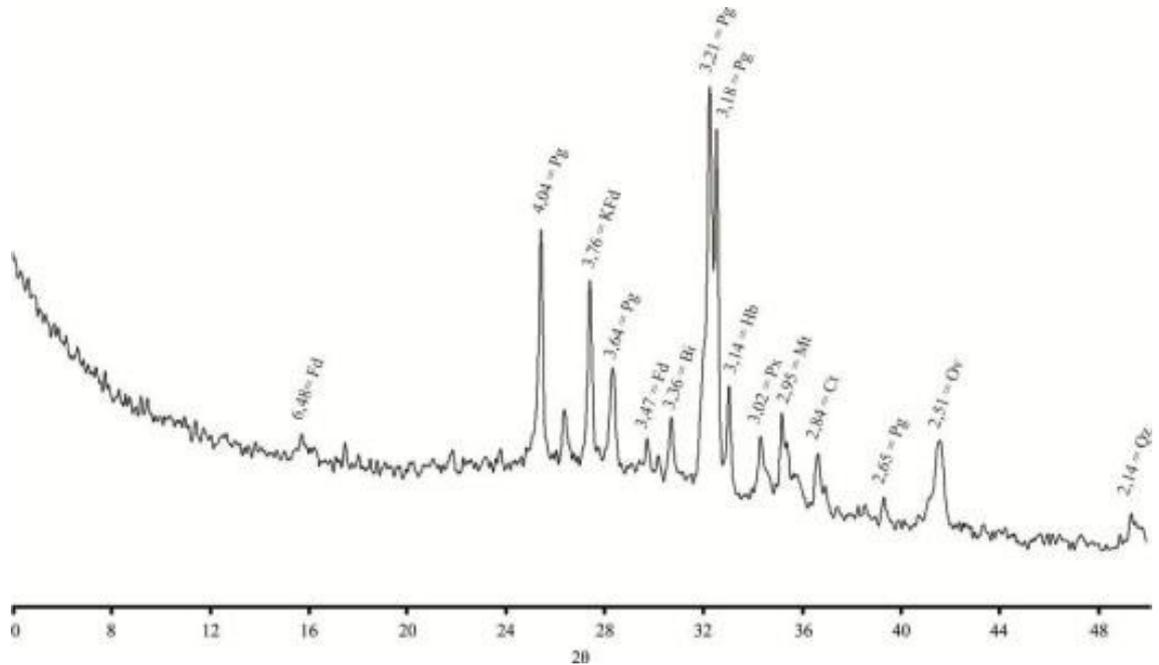


Figura 37. Difratograma de raio X da fração silte do horizonte 2C2 do Perfil CTX 02. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

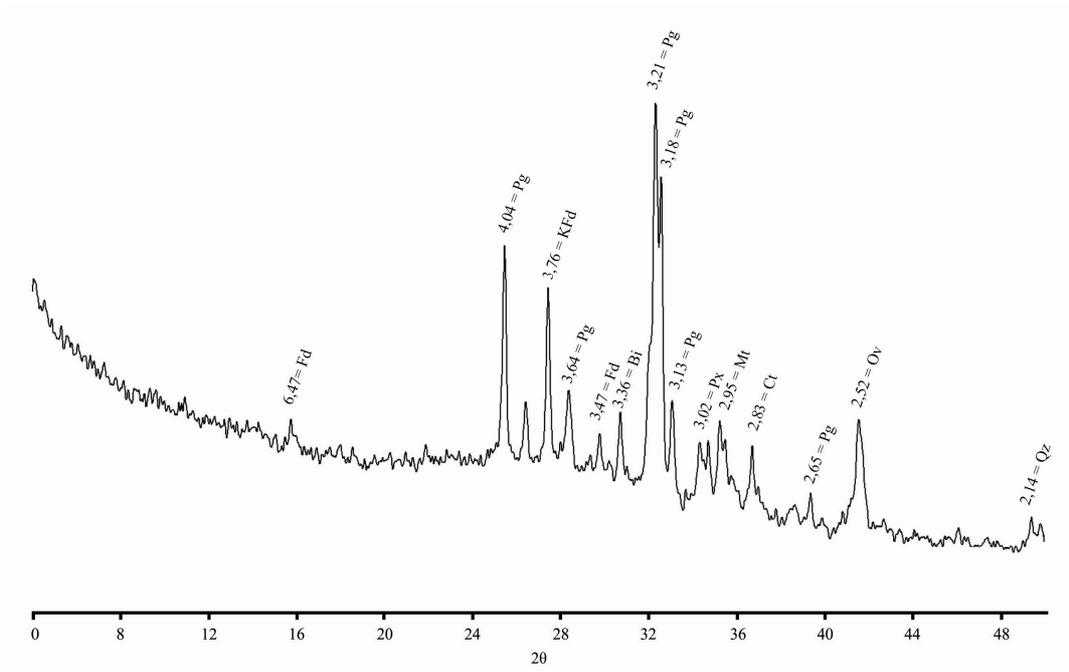


Figura 38. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte C2 do Perfil CTX 03. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

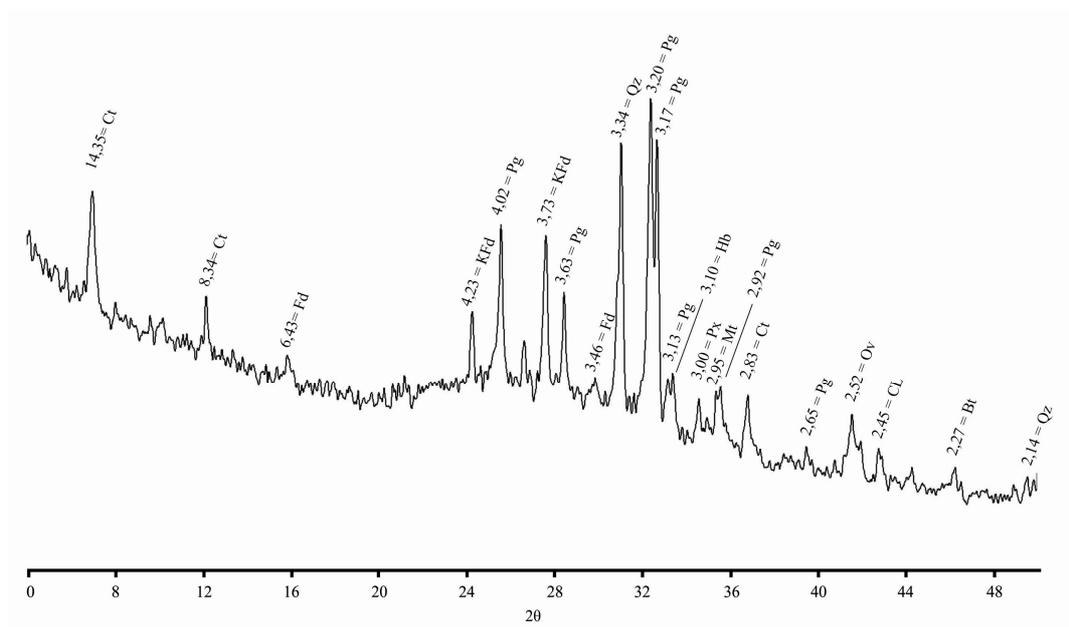


Figura 39. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte 3A3 do Perfil CTX 04. Minerais: Ct= Clorita, Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina, Bi= Biotita e Qz= Quartzo.

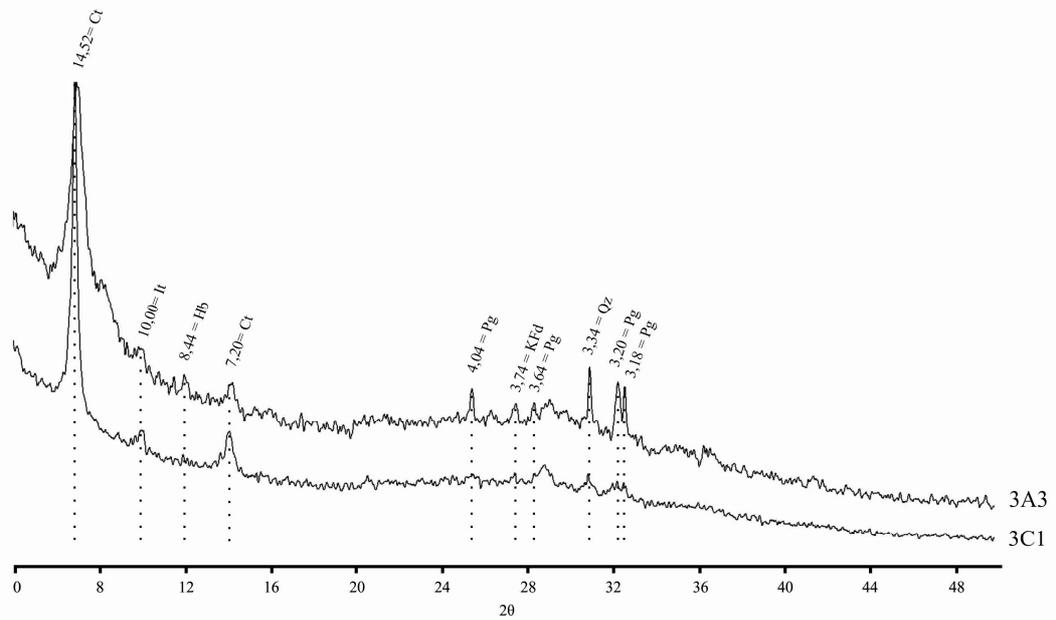


Figura 40. Difratoograma de raio X da fração argila dos horizontes 3A3 e 3C1 do Perfil CTX 04. Minerais: Ct= Clorita, It= Ilita, Hb= Hornblenda, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato e Qz= Quartzo.

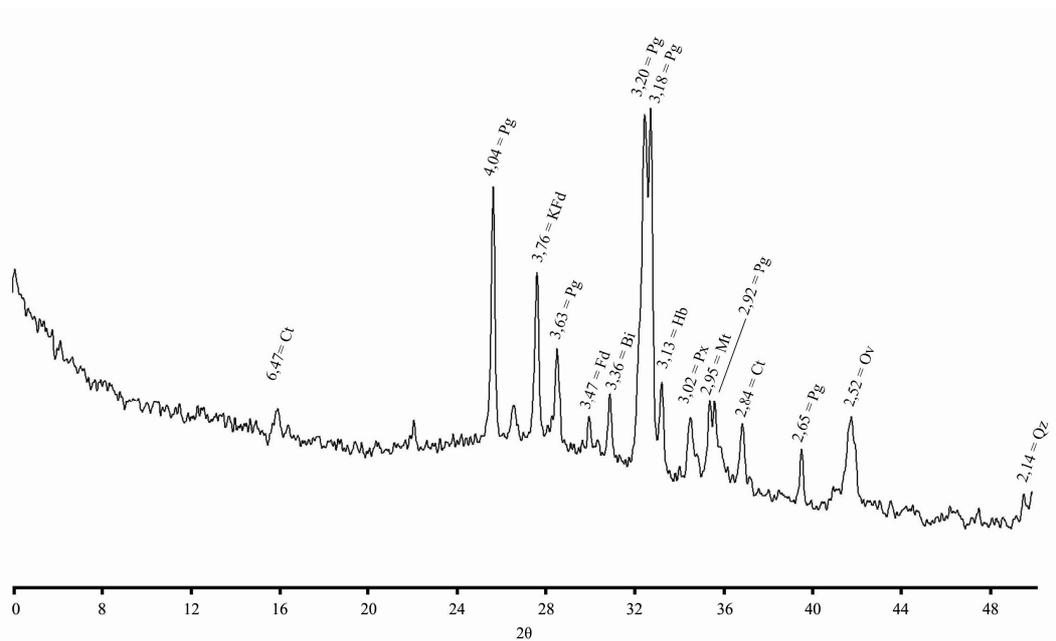


Figura 41. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte C3 do Perfil CTX 05. Minerais: Ct= Clorita, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Fd= Feldspato, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

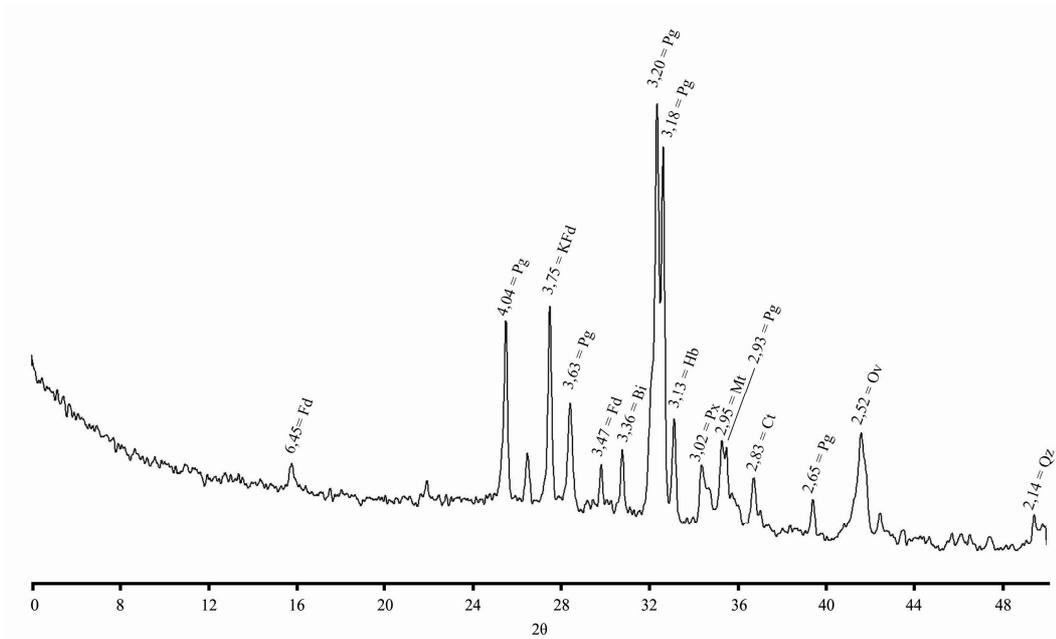


Figura 42. Difratoograma de raio X da fração silte do horizonte 2C3 do Perfil CTX 06. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

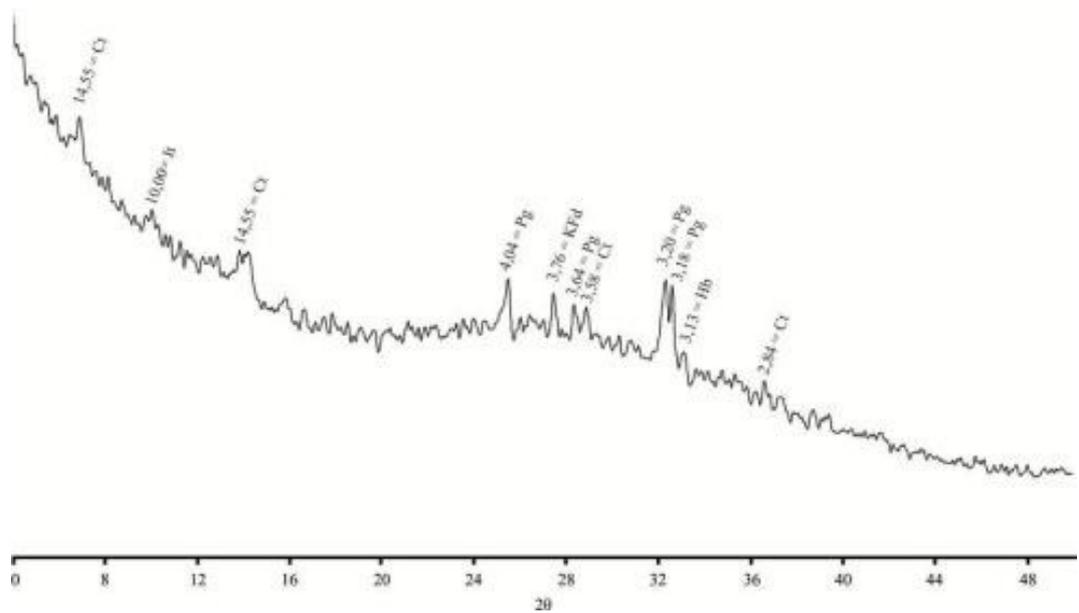


Figura 43. Difratoograma de raio X da fração argila do horizonte C1 do Perfil CTX 06. Minerais: Ct= Clorita, It= Ilita, Hb= Hornblenda, Pg= Plagioclásio e KFd= K-Feldspato.

Os perfis que possuem elevação próxima apresentaram uma grande semelhança nos difratogramas, como é possível visualizar nas figuras 44, 45 e 46. Quando analisados os minerais nas diferentes elevações, é possível visualizar os diferentes comportamentos, como a olivina (Å 2,52) e o piroxênio (Å 3,02), onde para os perfis localizados no topo da encosta (CTX 1, 2, 5 e 6), os picos se apresentam perfeitos e para os perfis na base (CTX 3 e 4), estes possuem um comportamento irregular, mostrando um maior efeito do intemperismo sobre os perfis de menor elevação. Entretanto, mesmo na fração argila verificou-se a presença de minerais facilmente intemperizáveis, indicando uma predominância do processo de intemperismo físico, principalmente nas cotas mais elevadas.

As análises petrográficas caracterizaram o material como Andesito, esse tipo de rocha apresenta como minerais principais em sua composição os Plagioclásios, geralmente zonado (indo de Labradorita a Oligoclásio), Hornblenda e Biotita, com ocorrência de Olivinas, Hiperstênio e Piroxênio. Também são encontrados alguns minerais classificados como acessórios, por se apresentarem em menor expressão, como Apatita, Zircão, Magnetita, Óxidos de Ferro e Titanita (UNESP, 2011).

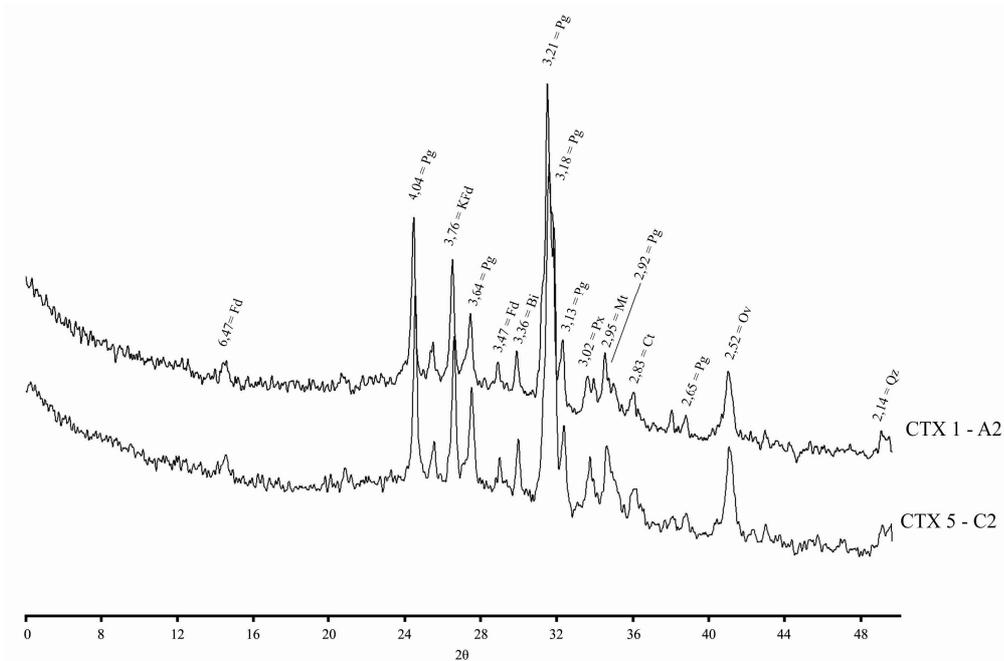


Figura 44. Difratograma de raio-X para os perfis localizados sob Neve (N), cerca de 4890m. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ct= Clorita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

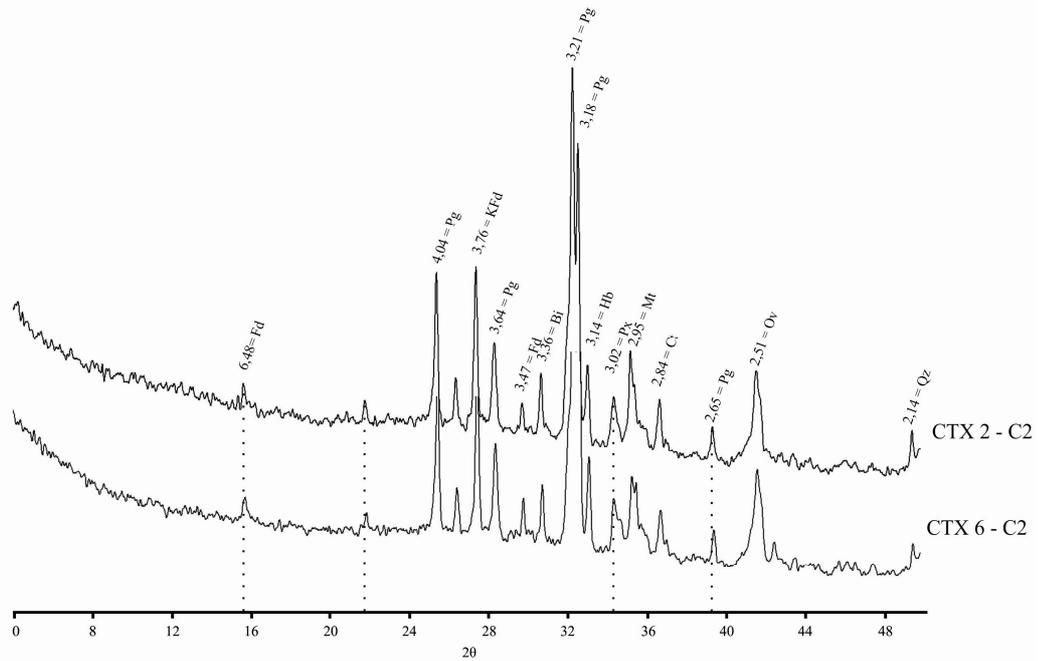


Figura 45. Difratoograma de raio-X para os perfis localizados sob a Tundra Pluvial Alpina (TpA), entre 4400 e 4700m. Minerais: Fd= Feldspato, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

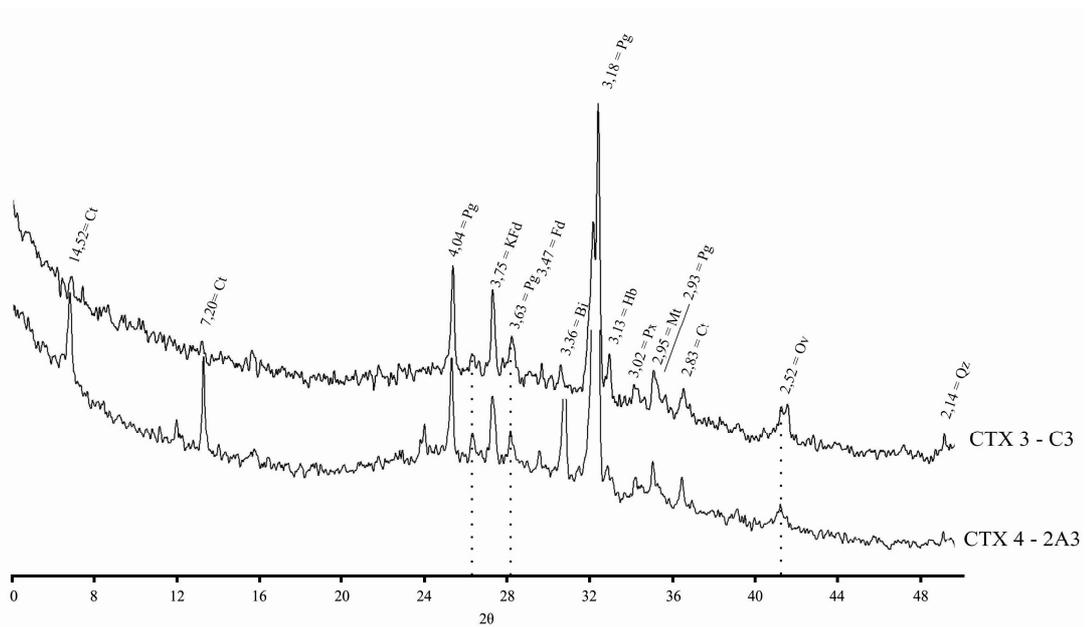


Figura 46. Difratoograma de raio-X para os perfis localizados sob o Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA), entre 3900 e 4400m. Minerais: Ct= Clorita, Pg= Plagioclásio, KFd= K-Feldspato, Fd= Feldspato, Bi= Biotita, Hb= Hornblenda, Px= Piroxênio, Mt= Magnetita, Ov=Olivina e Qz= Quartzo.

As rochas andesíticas do Cotopaxi apresentam grande quantidade de fenocristais, onde os Plagioclásios representam de 80-85%, os Piroxênios de 15 a 20% e minerais acessórios, com a Magnetita, aproximadamente 1%. As rochas riolíticas (ou Riolitos) apresentam somente de 2 a 4% de fenocristais, entre eles os Plagioclásios, Biotita, Anfibólios e traços de Quartzo, Óxidos, Apatita, Alanita e Zircão, sendo que os Plagioclásios presentes no material riolítico apresentam zoneamento e estão comumente fraturados (GARRISON, et al. 2001).

O material oriundo das atividades do Cotopaxi é bimodal, variando sua composição e sua disposição ao longo da encosta e se dá de forma aleatória. Somado com o transporte ativo de material de diferentes frações, não é possível determinar a composição exata do material que compõe cada camada dos perfis descritos.

A composição mineralógica, tanto das rochas Andesíticas quanto das Riolíticas, não apresenta variação, sendo esta diferenciada através de suas proporções, onde os valores de sílica presente na composição das rochas Andesíticas apresentam de 50 a 70% e são ricas em FeO, Fe₂O, MgO e CaO, e os riolitos apresentam valores superiores a 70% de sílica, pobres em óxidos de ferro, magnésio e cálcio, mas com altos teores de óxidos de sódio (Na₂O) e potássio (K₂O).

Os minerais identificados nas análises mineralógicas corroboram com os resultados petrográficos, confirmando a classificação do material e sua composição, assim como a interpretação das lâminas. Segundo Heinz Ebert (2012), alguns minerais como a Clorita, Olivina e Quartzo, estão associados a minerais como os Plagioclásios, Feldspatos e Biotitas, desta forma, mesmo não sendo visualizados nas lâminas petrográficas, são encontrados durante as análises mineralógicas.

Os minerais identificados nas análises mineralógicas e não observados nas lâminas petrográfica, como a Clorita, Olivina e Quartzo, estão associados a presença de minerais como os Plagioclásios, Feldspatos e Biotitas (HEINZ EBERT, 2012).

Como a coleta das amostras de rochas foi feita superficialmente, estas representam as últimas erupções, estando intimamente ligado com o transbordamento de material andesítico, característico das atividades mais recentes do vulcão (HALL et al. 2008; GARRISON et al. 2011; PISTOLESI et al. 2008).

As análises mineralógicas foram realizadas ao longo dos perfis, esta pode estar representando um material de composição diferenciada dos encontrados superficialmente, e como a composição mineralógica dos materiais (Andesítico e Riolítico) não varia, as leituras de raio X apenas detectam os picos com maiores ou menores intensidades, não sendo possível diferenciá-los através desta, mas os resultados obtidos através dos minerais identificados se mostra consistente para a composição de ambas as rochas.

4.5 Análises Físicas

As classes texturais das amostras variaram de areia a franco-siltosa, sendo 80% dos resultados representados por textura areia e areia-franca, quando analisadas usando o hidróxido de sódio (NaOH) como dispersante (EMBRAPA, 1997). Os valores de argila presente nas amostras variaram de 1 a 18%, mas com uma maior frequência entre 1 e 5%. Evidenciando as observações de campo, onde o material é grosseiro oriundo de deposições vulcânicas recentes, mas não evidenciando a argila, perceptível durante a descrição dos perfis em análise expedita (Tabela 8).

Tabela 8. Resultados das análises granulométricas com dispersão por hidróxido de sódio para os perfis descritos no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	>2mm (%)	Areia	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
				Grossa	Fina			
				(%)				
CTX 1	C1	0-10	50	46	32	19	3	Areia-Franca
	2C2	10-15	<10	46	35	17	2	Areia-Franca
	2C3	15-45	75	57	24	17	2	Areia-Franca
	2C4	45-80+	>80	71	18	8	3	Areia
CTX 2	C1	0-17	>60	61	23	13	3	Areia-Franca
	2C2	17-24	<10	61	26	10	3	Areia
	2C3	24-66	<10	33	57	6	4	Areia
	2C4	66-100+	>90	84	4	9	3	Areia
CTX 3	C1	0-5	<10	42	39	16	3	Areia-Franca
	C2	5-20	>70	39	51	8	2	Areia
	2C3	20-40	<15	35	52	9	4	Areia
	2C4	40-55	>80	77	10	10	3	Areia
	3C5	55-65	<10	36	47	15	2	Areia-Franca
	3C6	65-95	>90	65	16	16	3	Areia-Franca
	4C7	95-110	<10	15	58	25	2	Areia-Franca
	4C8	110-125	<20	47	34	15	4	Areia-Franca
	4C9	125-140+	<20	49	36	14	1	Areia
CTX 4	A	0-20	<10	44	24	23	9	Franco-Arenosa
	Bi	20-35	<15	51	27	16	6	Areia-Franca
	2A2	35-55	<10	17	35	30	18	Franca
	2B2	55-70	<10	40	25	25	10	Franco-Arenosa
	3A3	70-97	<10	12	33	41	14	Franca
	3Bi3	97-110	<15	71	9	14	6	Areia-Franca
	3C1	110-135	>80	91	2	4	3	Areia
	4C2	135-155	>70	47	29	17	7	Franco-Arenosa
	4C3	155-170+	>80	79	9	10	2	Areia
CTX 5	C1	0-17	>80	59	28	12	1	Areia
	C2	17-40	>90	48	27	23	2	Areia-Franca
	C3	40-62+	>80	52	22	18	8	Franco-Arenosa
CTX 6	C1	0-10	>70	44	42	13	1	Areia
	C2	10-25	>80	81	6	12	1	Areia
	2C3	25-35	25	54	33	12	1	Areia
	2C4	35-60	93	53	28	18	1	Areia-Franca
	3C5	60-75	83	21	25	53	1	Franco-Siltosa
	3C6	75-85+	92	43	36	20	1	Areia-Franca

A análise granulométrica foi repetida utilizando hexametáfosfato de sódio (NaHMP) como dispersante (EMBRAPA, 1997), sendo os resultados apresentados na tabela 9. Estes mostraram um incremento na quantificação da argila, onde os valores variaram entre 3 e 18%, mas com uma maior frequência entre 12 e 15%.

Tabela 9. Resultados das análises granulométricas com dispersão por hexametáfosfato de sódio para os perfis descritos no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	>2mm (%)	Areia	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
				Grossa	Fina			
				%				
CTX 1	C1	0-10	50	41	46	3	10	Areia
	2C2	10-15	<10	42	38	8	12	Areia-Franca
	2C3	15-45	75	59	31	5	15	Areia-Franca
CTX 2	C1	0-17	>60	43	42	2	13	Areia-Franca
	2C2	17-24	<10	57	21	10	12	Franco-Arenosa
	2C3	24-66	<10	32	46	5	17	Areia-Franca
CTX 3	C1	0-5	<10	35	53	0	12	Areia-Franca
	C2	5-20	>70	40	42	6	12	Areia-Franca
	2C3	20-40	<15	43	44	0	13	Areia-Franca
	2C4	40-55	>80	70	7	17	6	Areia-Franca
	3C5	55-65	<10	35	46	2	17	Areia-Franca
	3C6	65-95	>90	-	-	-	-	-
	4C7	95-110	<10	12	55	18	15	Franco-Arenosa
CTX 4	A	0-20	<10	56	19	11	14	Franco-Arenosa
	Bi	20-35	<15	60	22	6	12	Areia-Franca
	2A2	35-55	<10	47	22	19	12	Franco-Arenosa
	2B2	55-70	<10	25	31	26	18	Franco-Arenosa
	3A3	70-97	<10	28	32	25	15	Franco-Arenosa
	3Bi3	97-110	<15	37	24	21	18	Areia-Franca
	3C1	110-135	>80	92	2	3	3	Areia
CTX 6	C1	0-10	25	52	29	7	12	Areia-Franca
	C2	10-25	93	78	19	0	3	Areia
	2C3	25-35	83	58	30	3	9	Areia
	2C4	35-60	92	60	28	0	12	Areia-Franca

*Devido a impedimentos climáticos, não foi possível a coleta do perfil CTX-05 durante a segunda campanha.

Sendo o comportamento dos valores de silte o inverso, onde com o uso do hidróxido, a média foi de aproximadamente 16%, já com o hexametáfosfato esta foi de 8,5%. Os valores para areia grossa e fina não mostraram diferenças significativas entre eles.

As variações entre os dois métodos estão relacionadas a forma de ação destes dentro da solução, pois o hidróxido de sódio age como dispersante e o hexametáfosfato age como complexante, evitando que partículas de mesma carga se unam. Como os valores de areia não variaram apenas o de silte e argila, foi evidenciada a ocorrência de floculação na solução devido a aglutinação de partículas, possivelmente por efeito de cargas eletrostáticas dentro da solução (FONSECA & NISHIYAMA, 2003).

Se adicionado dispersante que influencie as cargas das superfícies, altera-se a relação estabelecida e mudam as características do sistema, ocorrendo aproximação e junção das partículas. Esse fenômeno altera a densidade da partícula, fazendo com que esta venha a se depositar mais rapidamente gerando erro durante as leituras das análises granulométricas feitas pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), já que esta é baseada na lei de Stokes. Explicando assim o comportamento encontrado com a mudança do dispersante, onde com o método utilizando o hidróxido de sódio os valores de silte foram superiores, visto que este é

obtido através da diferença entre areia e argila, mostrando que a dispersão não foi eficiente, formando partículas mais pesadas e de maior velocidade de precipitação.

Já para o hexametáfosfato de sódio, os valores de argila foram maiores, evidenciando uma maior dispersão das partículas dentro da solução, resultando em valores de silte bem menores que pelo método do hidróxido. Este pode estar ligado aos altos teores de sódio no solo analisado, chegando a $68,70\text{mg/dm}^3$ no horizonte 3C5 do perfil CTX – 06, levando a maior concentração de cargas gerando aproximação e aglutinação das partículas.

Outro fator que pode causar erros durante as análises granulométricas é a presença de sais e metais divalentes, como manganês e ferro. Elementos estes encontrados em grandes quantidades nos solos analisados, cuja influência depende da natureza da argila e das condições do meio. Como o hexametáfosfato é capaz de complexar os metais, isso evita a floculação das partículas mantendo estas por maior período de tempo em suspensão na solução, possibilitando assim a quantificação das argilas, visualizado nos resultados obtidos pelo hexametáfosfato (FONSECA & NISHIYAMA, 2003).

Segundo Shoji et al. (1993), a textura do solo não é uma boa propriedade como referência em solos oriundos de material vulcânico, devido aos problemas de precisão na sua quantificação por análises mecânicas. A incompleta dispersão das partículas minerais e a incerteza de suas unidades nos materiais pômicos intemperizados são os principais fatores limitantes durante as análises (MAEDA et al., 1977). Outra dificuldade descrita é a grande quantidade de materiais não-cristalinos (minerais amorfos), formando agregados muito resistentes à dispersão, como a agregação de alofana proveniente de força coesiva forte, resultando em baixa densidade de cargas (KUBOTA, 1976), e a cimentação de agregados de óxidos e hidróxidos de ferro tal como ferrihidrita (SHOJI et al. 1993).

Assim como descrito por Ping et al (1989), a textura visualizada no campo e a textura obtida em laboratório são discrepantes, principalmente se tratando das frações mais finas. Devido às grandes dificuldades para classificar com precisão a textura dos solos formados a partir de material vulcânico, esta foi modificada.

Smith (1978) propôs uma classificação baseada na combinação de tamanho de partícula e mineralogia, sendo esta adotada em *Keys of Soil Taxonomy*, em 1992. A classificação da classe textural dos perfis descritos a partir da classificação adotada pelo *Soil Taxonomy* é apresentada na tabela 10.

A sucessão das deposições vulcânicas decorrentes das últimas atividades é visualizada na descontinuidade granulométrica ao longo dos perfis, onde há a variação principalmente das porcentagens de areia grossa, areia fina. Sendo esta propriedade utilizada para a classificação dos horizontes e camadas que compõem os perfis.

Tabela 10. Classificação de classe textural apartir do tamanho de partícula (USDA, 2010).

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	>2mm (%)	Classe Textural	
				Soil Taxonomy	Adaptação Soil Taxonomy
CTX 1	C1	0-10	<30	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
	2C2	10-15	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	2C3	15-45	75	<i>Medial-pumiceous</i>	Média-pômica
	2C4	45-80+	>80	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
CTX 2	C1	0-17	>60	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
	2C2	17-24	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	2C3	24-66	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	2C4	66-100+	>90	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
CTX 3	C1	0-5	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	C2	5-20	>70	<i>Medial-pumiceous</i>	Média-pômica
	2C3	20-40	<15	<i>Ashy</i>	Cinza
	2C4	40-55	>80	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
	3C5	55-65	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	3C6	65-95	>90	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
	4C7	95-110	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	4C8	110-125	<20	<i>Ashy-pumiceous</i>	Cinza-pômica
	4C9	125-140+	<20	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
CTX 4	A	0-20	<10	<i>Ashy</i>	Cinza
	Bi	20-35	<25	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
	2A2	35-55	<30	<i>Ashy-pumiceous</i>	Cinza-pômica
	2B2	55-70	>30	<i>Aashy</i>	Cinza
	3A3	70-97	>75	<i>Ashy-pumiceous</i>	Cinza-pômica
	3Bi3	97-110	>60	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
	3C1	110-135	>80	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
	4C2	135-155	>70	<i>Medial-pumiceous</i>	Média-pômica
	4C3	155-170+	>80	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
CTX 5	C1	0-17	>80	<i>Medial</i>	Média
	C2	17-40	>90	<i>Medial-pumiceous</i>	Média-pômica
	C3	40-62+	>80	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética
CTX 6	C1	0-10	>70	<i>Ashy-skeletal</i>	Cinza-esquelética
	C2	10-25	>80	<i>Medial</i>	Média
	2C3	25-35	<25	<i>Ashy</i>	Cinza
	2C4	35-60	93	<i>Pumiceous</i>	Pômico
	3C5	60-75	83	<i>Medial-pumiceous</i>	Média-pômica
	3C6	75-85+	92	<i>Medial-skeletal</i>	Média-esquelética

As variações granulométricas corroboram com os resultados descritos por Pistolesi (2008), onde este apresenta uma sequência estratigráfica das deposições vulcânicas e suas respectivas datações (Figura 47), evidenciando desta forma, a recente atividade do vulcão e

sua deposição de material. As discontinuidades de material observadas podem ser divididas em três seções, que correlacionadas com os dados de Pistolesi, seriam referentes às atividades vulcânicas ocorridas em 1877, 1853, 1843 a 1853 ou 1803 e 1766 a 1768.

Estas discontinuidades podem ser visualizadas mais claramente nos perfis CTX-03 e CTX-04, onde as amostras foram coletadas até 140 e 170 cm, respectivamente. Já nos perfis restantes, devido a restrições físicas do terreno, não foi possível alcançar maiores profundidades, desta forma, não sendo possível visualizar as variações ao longo do perfil.

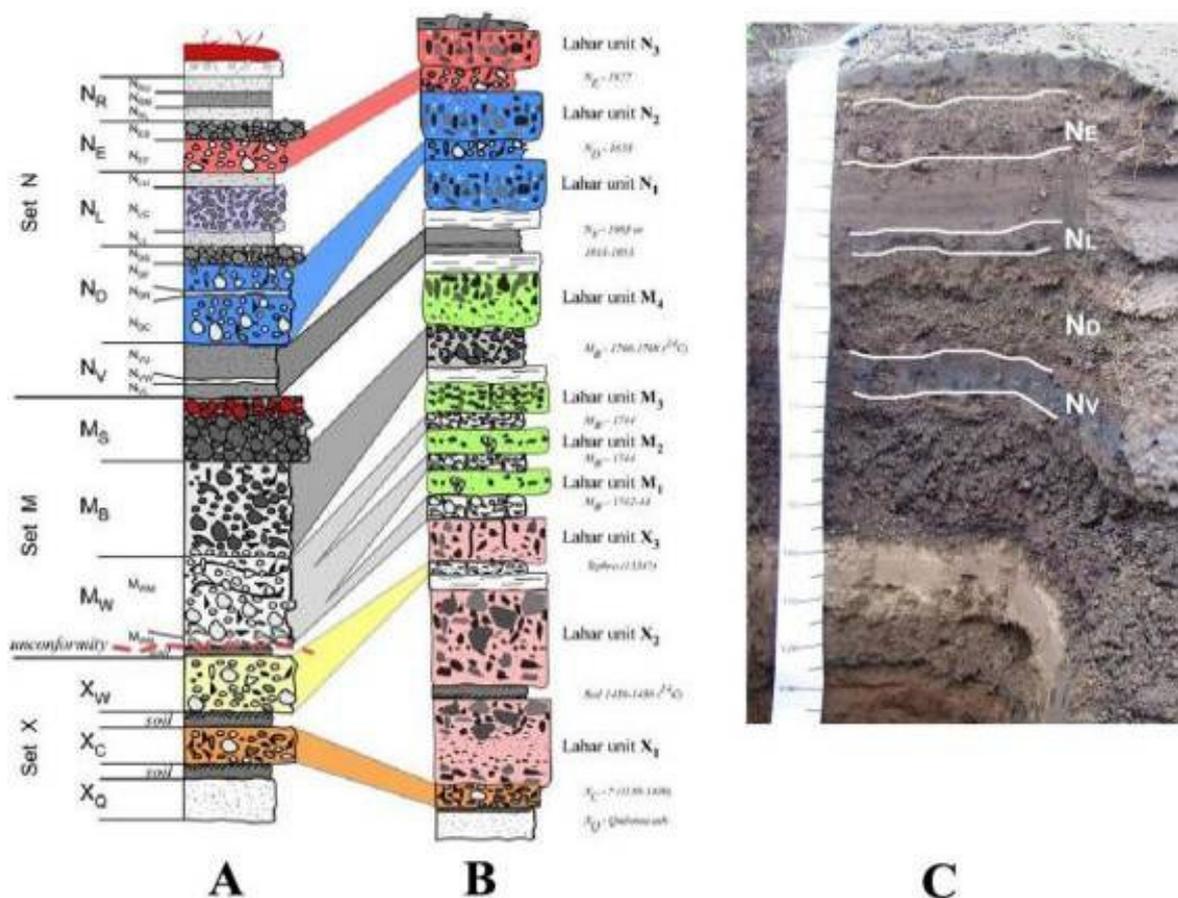


Figura 47. Correlações estratigráficas entre a sequência de tephra composto (A), coluna estratigráfica de depósitos de lahars (B) e perfil CTX – 03 (C), descrito durante os trabalhos de campo (Adaptado de PISTOLESI, 2008).

A camada ND, em particular, é formada por duas camadas principais de tephra (NDC e NDF) separadas por uma camada de cinzas avermelhadas (NDR). As camadas ND e NL estão associadas à atividade de 1853, em particular com base na escala do lahar e geração de escória. Os fluxos de ND associados à escória mostram pulsos múltiplos e estão presentes no topo de ambas as camadas NDC e NDF. Eles foram encontrados tanto no norte e no lado sul do vulcão e têm, provavelmente, a maior extensão da área no que diz respeito a todos os outros depósitos de fluxo observados escória (PISTOLESI, 2008).

A camada NE é o último evento significativo (1877) e sua atividade é representada apenas por três camadas de cinzas finas, este é descrito com muita precisão, tanto para sequência de erupção quanto para as características lahar (dispersão, a natureza material, lahars e características de fluxo escória).

Os perfis CTX-01, CTX-02 e CTX-05 apresentam uma camada superficial de granulometria mais grosseira, decorrente de deposição de materiais oriundos de regiões mais

elevadas da encosta, que transportados pela neve e água de degelo, são depositadas na parte inferior das encostas ao longo dos flancos do vulcão. A granulometria do material se apresenta em maiores diâmetros nos perfis de maior altitude (CTX -01, 02 e 05). Ela é associada a maior espessura da camada superficial, sendo o tamanho das partículas e espessura da camada superficial reduzidos com a diminuição da cota e aumento da distancia em relação ao cume do vulcão. estas duas reduzidas com a diminuição da elevação.

O tamanho das partículas depositadas está correlacionado com a distância da fonte e energia necessária para deslocá-las. A fonte principal do material é a cratera, e os pontos mais elevados apresentam uma maior energia potencial e maior declividade de rampa, já nos perfis de menor cota, a energia potencial e a declividade da rampa são menores. Para o material particulado chegar aos pontos de menor cota do terreno, é preciso maior adição de energia, de forma que ele possa se deslocar. Desta forma, as menores frações, por demandar menos energia, se deslocam por uma maior área. Isso faz com que de acordo com a vertente e sua declividade haja uma variação tanto na composição granulométrica da camada superior quanto em sua espessura. Como esta camada superior é caracterizada por materiais alóctones, sendo uma deposição pós-atividade vulcânica esta foi considerada como descontinuidade nos horizontes descritos.

4.6 Análises Químicas

As leituras de pH para os perfis descritos, as leituras em H₂O variaram entre 5,5 a 6,9 e as leituras em KCl variaram de 4,5 a 5,8. Apresentam-se moderadamente ácido, não sendo este um limitante para a estabilização da cobertura vegetal, se encontrando em uma condição de pH que mantém os nutrientes disponíveis para a assimilação (Tabela 11) . Os valores de pH para estes solos são atribuídos principalmente a dissociação dos prótons nas arestas dos aluminossilicatos não-cristalinos: $\text{SiOH} \rightarrow \text{SiO}^- + \text{H}^+$ (SHOUJI et al. 1993), além da lixiviação das bases, já que os teores de argila neste solo são baixos.

A partir dos valores de pH destes foi calculado o valor do ΔpH , variando estes entre -0,02 e -1,1, sendo considerados bem baixos. O ΔpH pode ser usado para indicar a presença de cargas minerais variáveis. Segundo Shouji et al. (1993), valores positivos ou pouco negativos são indicativos da presença de alofana, baixos conteúdos de húmus e Al extraível, essa diferença entre pH (H₂O) e pH (KCl) também caracterizam alguns solos que apresentam maiores quantidades de argilas não-cristalinas e baixos valores de silicatos.

São observados teores de MO em camadas profundas, principalmente perfil CTX-04. O que pode decorrer de cobertura vegetal em condições pretéritas nessas camadas, que foram soterradas pelo material expelido em erupções vulcânicas posteriores. Em outros perfis, os teores de MO variam de forma mais sutil, como no perfil CTX-03 e 06, em cotas mais elevadas, nas quais as condições poderiam ser semelhantes as atuais, com desenvolvimento vegetal particular, com baixa diversidade de plantas e pequena cobertura vegetal.

Para os perfis CTX-01 e 02 foram obtidas leituras muito baixas (0,13%), mesmos valores obtidos para as 2 primeiras camadas do perfil CTX-03, compostas por deposição de cinzas. Como o perfil CTX-03 apresenta cobertura vegetal sobre toda sua área, este valor pode ser oriundo desta, explicando o valor obtido. Já os perfis CTX-01 e 02, se posicionam em uma porção da paisagem onde a cobertura vegetal é composta apenas por vegetais extremófilos, que se desenvolvem em pontos específicos do terreno. Assim, os valores encontrados para MO podem estar relacionados com a ocorrência destes indivíduos. Mas como se tratam de organismos que produzem uma pequena quantidade de MO e os processos erosivos, principalmente o transporte de materiais e muito intenso nestes pontos, não foi possível obter uma conclusão sobre a origem dos valores de MO para os perfis CTX-01 e 02.

Tabela 11. Atributos químicos dos perfis coletados no flanco norte do Vulcão Cotopaxi.

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 01	C1	5,54	5,34	-0,20	50,00	9,00	20,80	0,00	0,02	0,00	0,60
	2C2	6,18	5,67	-0,51	25,60	10,00	18,80	0,00	0,02	0,00	0,60
	2C3	6,36	5,69	-0,67	43,60	11,00	14,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C4	6,69	5,70	-0,99	46,50	9,00	17,80	0,00	0,02	0,00	0,60
CTX 02	C1	6,26	5,81	-0,45	42,90	12,00	30,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C2	6,46	5,75	-0,71	15,20	11,00	41,70	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C3	6,61	5,76	-0,85	42,00	17,00	28,80	0,00	0,03	0,00	1,00
	2C4	6,95	6,01	-0,94	47,90	14,00	17,80	0,00	0,04	0,00	1,10
CTX 03	C1	6,54	5,68	-0,86	50,30	13,00	20,80	0,00	0,02	0,00	1,00
	C2	6,68	5,54	-1,14	45,90	10,00	16,80	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C3	6,12	5,16	-0,96	20,30	12,00	12,80	0,05	0,03	0,00	1,10
	2C4	6,75	5,70	-1,05	42,70	11,00	21,80	0,00	0,03	0,00	1,00
	3C5	6,66	5,65	-1,01	11,90	14,00	33,80	0,04	0,05	0,00	1,00
	3C6	6,58	5,85	-0,73	89,10	22,00	27,80	0,01	0,04	0,00	1,00
	4C7	6,78	5,66	-1,12	35,20	29,00	53,70	0,00	0,03	0,00	0,80
	4C8	6,91	5,67	-1,24	47,70	25,00	37,80	0,03	0,05	0,00	0,80
	4C9	6,56	5,56	-1,00	59,40	43,00	48,70	0,12	0,08	0,00	1,00

Continua...

pH: H₂O 1:2,5; P-Na-K-Fe-Zn-Mn-Cu: Melich-1; Ca-Mg-Al: KCl 1 N; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 N; SB: Soma de Bases; CTA(t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T): Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de saturação de Alumínio; IsNa: Índice de saturação de Sódio; P-Rem: Fósforo Remanescente.

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 04	A	6,05	5,20	-0,85	17,90	142,00	32,80	3,43	2,37	0,00	4,50
	Bi	6,14	5,16	-0,98	18,80	67,00	34,80	1,26	0,79	0,00	3,20
	2A2	5,55	4,61	-0,94	7,90	133,00	50,70	1,99	1,47	0,20	8,00
	2B2	5,54	4,68	-0,86	5,90	56,00	47,70	0,84	0,34	0,20	4,80
	3A3	5,47	4,54	-0,93	9,90	109,00	44,70	1,08	0,51	0,29	5,60
	3Bi3	6,26	5,39	-0,87	7,70	55,00	21,80	1,46	0,97	0,00	2,70
	3C1	6,36	5,01	-1,35	7,50	23,00	16,80	0,10	0,08	0,00	1,60
	4C2	5,89	4,98	-0,91	4,50	42,00	52,70	0,94	0,27	0,20	3,50
	4C3	6,13	4,99	-1,14	6,10	29,00	28,80	0,23	0,10	0,00	1,80
CTX 05	C1	6,20	5,49	-0,71	13,50	18,00	28,80	0,00	0,04	0,00	0,80
	C2	5,77	5,20	-0,57	44,40	30,00	48,70	0,00	0,03	0,00	1,00
	C3	6,04	5,30	-0,74	29,80	25,00	32,80	0,00	0,02	0,00	1,00
CTX 06	C1	5,59	4,75	-0,84	35,90	31,00	29,80	0,13	0,08	0,10	1,80
	C2	6,23	5,83	-0,40	50,00	13,00	21,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C3	5,91	5,54	-0,37	65,40	19,00	50,70	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C4	6,27	5,75	-0,52	14,10	29,00	37,80	0,05	0,05	0,00	0,50
	3C5	-	-	-	44,80	68,00	68,70	0,14	0,07	0,00	1,30
	3C6	6,27	5,77	-0,50	33,50	33,00	34,80	0,25	0,12	0,00	0,50

Continua...

pH: H₂O 1:2,5; P-Na-K-Fe-Zn-Mn-Cu: Melich-1; Ca-Mg-Al: KCl 1 N; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 N; SB: Soma de Bases; CTA(t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T): Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de saturação de Alumínio; IsNa: Índice de saturação de Sódio; P-Rem: Fósforo Remanescente.

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
		cmolc/dm ³			%	dag/Kg	mg/L	mg/dm ³					
CTX 01	C1	0,13	0,13	0,73	17,80	0,00	69,57	0,13	54,50	0,94	58,10	1,40	0,50
	2C2	0,13	0,13	0,73	17,80	0,00	62,88	0,13	55,00	0,75	66,50	1,30	1,47
	2C3	0,11	0,11	0,91	12,10	0,00	58,50	0,13	54,40	1,04	41,20	1,60	1,33
	2C4	0,12	0,12	0,72	16,70	0,00	64,49	0,13	57,50	1,06	50,70	1,70	0,95
CTX 02	C1	0,18	0,18	0,98	18,40	0,00	74,40	0,13	58,80	1,83	127,90	3,00	2,00
	2C2	0,23	0,23	1,23	18,70	0,00	78,83	0,13	54,50	0,69	167,40	6,80	2,09
	2C3	0,20	0,20	1,20	16,70	0,00	62,61	0,13	47,50	0,38	111,70	4,10	3,03
	2C4	0,16	0,16	1,26	12,70	0,00	48,37	0,13	53,80	4,53	192,30	3,40	2,20
CTX 03	C1	0,14	0,14	1,14	12,30	0,00	64,60	0,13	56,40	2,67	97,20	2,90	1,73
	C2	0,12	0,12	1,12	10,70	0,00	60,87	0,13	55,30	0,27	80,90	2,50	1,08
	2C3	0,17	0,17	1,27	13,40	0,00	32,74	0,66	51,60	0,30	72,60	2,60	1,11
	2C4	0,15	0,15	1,15	13,00	0,00	63,19	0,26	57,20	3,77	139,40	8,40	4,71
	3C5	0,28	0,28	1,28	21,90	0,00	52,48	0,40	53,80	0,52	111,90	4,90	5,03
	3C6	0,23	0,23	1,23	18,70	0,00	52,55	0,66	56,90	5,01	168,20	6,70	1,79
	4C7	0,33	0,33	1,13	29,20	0,00	70,75	0,13	57,50	0,43	143,90	4,00	1,45
	4C8	0,30	0,30	1,10	27,30	0,00	54,78	0,26	60,00	0,73	123,70	6,10	3,24
	4C9	0,52	0,52	1,52	34,20	0,00	40,72	0,13	59,20	0,73	68,40	6,00	5,57

Continua...

pH: H₂O 1:2,5; P-Na-K-Fe-Zn-Mn-Cu: Melich-1; Ca-Mg-Al: KCl 1 N; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 N; SB: Soma de Bases; CTA(t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T): Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de saturação de Alumínio; ISNa: Índice de saturação de Sódio; P-Rem: Fósforo Remanescente.

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
		cmolc/dm ³			%	dag/Kg	mg/L	mg/dm ³					
CTX 04	A	6,30	6,30	10,80	58,30	0,00	2,26	6,26	32,50	2,50	120,30	22,00	0,66
	Bi	2,37	2,37	5,57	42,50	0,00	6,38	2,63	35,70	1,65	196,30	20,30	2,95
	2A2	4,02	4,22	12,02	33,40	4,70	5,22	6,91	16,80	1,66	99,40	63,50	2,99
	2B2	1,53	1,73	6,33	24,20	11,60	11,99	2,30	22,30	0,44	55,90	7,70	11,99
	3A3	2,06	2,35	7,66	26,90	12,30	8,27	3,62	25,50	6,57	94,60	31,30	6,58
	3Bi3	2,66	2,66	5,36	49,60	0,00	3,56	1,98	38,30	2,37	93,40	15,30	4,02
	3C1	0,31	0,31	1,91	16,20	0,00	23,56	0,53	45,60	3,63	141,10	4,70	1,12
	4C2	1,55	1,75	5,05	30,70	11,40	13,09	1,98	24,60	1,03	71,80	11,50	6,86
	4C3	0,53	0,53	0,33	22,70	0,00	23,63	0,53	47,90	2,54	112,70	3,40	1,73
CTX 05	C1	0,22	0,22	1,02	21,60	0,00	56,92	0,66	56,50	1,31	158,40	5,40	3,54
	C2	0,32	0,32	1,32	24,20	0,00	66,17	0,40	59,00	1,29	80,70	2,80	3,12
	C3	0,22	0,22	1,22	18,00	0,00	64,82	0,13	57,70	1,39	105,30	4,00	3,02
CTX 06	C1	0,42	0,52	2,22	18,90	19,20	24,92	1,65	52,30	0,75	121,10	4,90	0,97
	C2	0,14	0,14	0,94	14,90	0,00	67,70	0,53	57,50	10,85	130,80	2,80	1,38
	2C3	0,29	0,29	1,29	22,50	0,00	76,01	0,66	55,80	0,65	259,80	6,20	2,44
	2C4	0,33	0,33	0,83	39,80	0,00	49,80	0,66	54,40	4,09	300,00	9,30	3,64
	3C5	0,68	0,68	1,98	34,30	0,00	43,93	0,26	52,60	6,77	200,90	5,60	4,76
	3C6	0,66	0,66	1,10	54,50	0,00	25,22	0,66	45,70	3,48	138,70	9,00	7,33

pH: H₂O 1:2,5; P-Na-K-Fe-Zn-Mn-Cu: Melich-1; Ca-Mg-Al: KCl 1 N; H+Al: Acetato de Cálcio 0,5 N; SB: Soma de Bases; CTA(t): Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T): Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de saturação de Alumínio; ISNa: Índice de saturação de Sódio; P-Rem: Fósforo Remanescente.

Durante a observação dos resultados, detectou-se um maior destaque para alguns elementos, como o sódio (Na) e o potássio (K), elementos estes encontrados em todos os perfis descritos, já o cálcio (Ca) apenas no perfil CTX-04, com pequenas ocorrências em horizontes subsuperficiais no perfil CTX-03 e 06. Estes elementos são originários da composição mineralógica local, visto que durante as análises de raio-X foram identificados padrões para feldspato e k-feldspato em todos os perfis, ocorrendo estes em grandes quantidades e evidenciando a sua ocorrência por toda a área de estudo.

Estes resultados se devem à presença de material félsico, que são rochas compostas principalmente por quartzos, ortoclásios e plagioclásios, minerais estes ricos em sílica, sódio e potássio, elementos mais leves encontrados em abundância em todos os perfis analisados. Estes resultados também foram encontrados e descritas em outros trabalhos (GARRISON, 2011), o que corroboram com os resultados obtidos, mostrando que os elementos em maior destaque dentro da composição do solo se devem ao material originário autóctone.

A apatita, mineral observado nas análises petrográficas, apresenta a seguinte fórmula: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$, o que pode explicar a presença de teores elevados de fósforo mineral nos perfis descritos. Juntamente com o P, a apatita também é fonte de cálcio, sendo observado nas leituras referentes ao perfil CTX-04. Este perfil se apresenta na porção mais baixa da paisagem em relação aos demais, com menor declividade e ocorrência esporádica de neve, o que leva a movimentação de água de degelo reduzida, conseqüentemente, gerando menor pressão do intemperismo químico e remoção do Ca por lixiviação, o que pode explicar a ocorrência do cálcio neste perfil e não nos demais.

Durante as interpretações das análises mineralógicas foram reconhecidos diversos padrões de minerais característicos destas rochas, como a biotita ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Al}, \text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}$), magnetita (Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)), olivinas ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$), piroxênios ($(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$). Esta composição reflete os resultados observados referentes às leituras ferro (Fe), magnésio (Mg) e manganês (Mn), sendo também fonte de sódio e cálcio, o que caracteriza o material como ferromagnésiano, material característico de rochas ígneas máficas.

Para os metais pesados, os valores de Cr e Pb foram nulos, as leituras de Cd foram muito baixas. Já para o Ni foram detectados valores significativos apenas para o perfil CTX-04, estando presente este também nos outros perfis em valores traço (Tabela 12).

O níquel tende a se concentrar nos primeiros minerais magnésianos e ferromagnésianos que se cristalizam. Sua presença nas leituras é explicada pela ocorrência de olivina e piroxênio, pois estes são os principais veículos do Ni entre os minerais das rochas ígneas, podendo ser encontrado também nas biotitas e nos feldspatos (FONSECA, 2012). Sendo todos estes minerais encontrados nos perfis descritos, sendo identificados através das leituras de raio X. Essa variação na composição geoquímica do material originário se deve as características de formação, atividade e composição magmática do vulcão Cotopaxi, descrita por Garrison et al. (2011) e evidenciada por diversos autores (HALL & WOOD, 1985; MOTHESS et al. 2004; HALL, 2005; HALL & MOTHESS, 2008; PISTOLESI et al. 2008).

Devido à subducção e fusão da placa de Nazca com material da crosta, gera-se um material heterogêneo, gerando reservatórios ou extravasando. Esta composição complexa do material originário é o que caracteriza as observações analíticas, onde os valores são variáveis entre perfis e dentro do perfil, mostrando grande variação na composição química do material depositados durante as atividades vulcânicas. Segundo Shoji et al. (1993), os solos formados em zonas vulcânicas refletem fortemente em seus atributos químicos devido a influência do material de origem, sendo este composto pelos seus mais diversos produtos como o material vulcânico ejetado em forma de cinzas, tephra, pomes, além dos piroclastos expelidos durante as erupções e os deslocados através do terreno.

Tabela 12. Resultados analíticos de metais pesados.

Perfil	Horizonte	Cr	Ni	Cd	Pb
		mg/dm ³			
CTX 01	C1	0,00	0,00	0,03	0,00
	2C2	0,00	0,00	0,05	0,11
	2C3	0,00	0,13	0,03	0,00
	2C4	0,00	0,08	0,02	0,00
CTX 02	C1	0,00	0,00	0,03	0,00
	2C2	0,00	0,11	0,05	0,00
	2C3	0,00	0,02	0,01	0,22
	2C4	0,00	0,03	0,03	0,00
CTX 03	C1	0,00	0,10	0,04	0,00
	C2	0,00	0,16	0,02	0,00
	2C3	0,00	0,00	0,06	0,00
	2C4	0,00	0,10	0,05	0,00
	3C5	0,00	0,32	0,05	0,00
	3C6	0,00	0,26	0,03	0,00
	4C7	0,00	0,18	0,02	0,06
	4C8	0,00	0,25	0,02	0,00
CTX 04	A	0,00	0,60	0,05	0,00
	Bi	0,00	0,75	0,03	0,00
	2A2	0,00	1,82	0,05	0,00
	2B2	0,00	0,67	0,04	0,00
	3A3	0,00	0,90	0,04	0,00
	3Bi3	0,00	0,41	0,03	0,00
	3C1	0,00	0,00	0,03	0,00
	4C2	0,00	0,57	0,02	0,00
CTX 05	C1	0,00	0,19	0,03	0,00
	C2	0,00	0,01	0,03	0,00
	C3	0,00	0,24	0,03	0,00
CTX 06	C1	0,00	0,11	0,00	0,00
	C2	0,00	0,25	0,02	0,00
	2C3	0,00	0,24	0,03	0,05
	2C4	0,00	0,13	0,05	0,00
	3C5	0,00	0,23	0,01	0,00
	3C6	0,00	0,20	0,05	0,00

* Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator Mehlich⁻¹

O intemperismo químico dos solos vulcânicos é controlado no ambiente pela taxa de intemperismo do material, sua composição química, área de superfície (controlada pelo tamanho do grão e da natureza vesicular de partículas), o solo, temperatura,

lixiviação potencial (quantidade de água de percolação através das cinzas), espessura de cinzas, pH, e as concentrações de ligantes complexantes em soluções de percolação do solo (SHOUJI et al.1993). Alguns destes fatores são oriundos do processo de formação do material, ou seja, do tipo de erupção e de magma produzido pelo vulcão. A composição química, a viscosidade e o conteúdo de gases presentes durante a erupção determinam o tamanho das partículas e o quanto vesiculado será o material, quanto menor o tamanho das partículas e maior as vesículas, maior é a superfície de contato. A espessura da camada de deposição interfere diretamente no potencial de lixiviação, alterando as condições químicas através do controle da concentração da solução do solo.

A composição mineralógica do material também está associada à velocidade das reações químicas presentes no solo, sendo determinadas pela estabilidade dos materiais. A sequência básica de estabilidade é apresentada abaixo:

Vidro vulcânico com cor < Vidro vulcânico sem cor = Olivina < Plagioclásio < Augita < Hiperstênio < Hornblenda < Minerais Ferromagnesianos.

Resultado este que reflete a presença destes minerais na composição dos solos e corrobora com os resultados obtidos através das análises petrográficas e mineralógicas.

4.7 Dados de Temperatura do Solo

Os pontos de monitoramento foram instalados nas trincheiras usadas para a descrição dos perfis CTX 1, CTX 2 e CTX 6, sendo os pontos classificados como Sitio 1, 2 e 3, respectivamente. Devido a impedimentos do terreno as profundidades anteriormente propostas foram alteradas, a maior profundidade (100 cm) só foi atingida no sitio 2, sendo esta de 80 cm para o sitio 1 e de 85 cm para o sitio 3.

O sitio 1 foi instalado a 4885 m, região que permanece a maior parte do ano coberta de neve, ficando exposto apenas no inverno, julho-agosto-setembro. Durante o período de registro dos dados para o sitio 1 (16/12/10 a 15/12/11), houve interferência externa, onde o cabo do sensor de temperatura do ar foi cortado, possivelmente por algum animal, evidenciado por sinais encontrados no cabo e por não apresentar perturbações no sistema. O perfil do solo em que este foi instalado é composto basicamente de tephra, camadas intercaladas de cinza vulcânica e lapilli, com granulometria variando de 5 a 25 mm com presença de rochas vesiculadas (pomes).

A coleta dos dados de temperatura do ar foi interrompida no final do mês de abril, não sendo possível a coleta no restante do ano (Tabela 13).

Os registros mostram que a temperatura do solo se mantém acima das temperaturas do ambiente, sendo este aumento gradual, quando mais profundo, menor é a sensibilidade do solo diante das temperaturas externas.

Os sensores instalados a 2 e 10 cm da superfície são os que apresentam maior variação de temperatura (Figura 48), sendo evidenciado pela variação dos valores do DP. Já os sensores posicionados nas camadas mais profundas apresentam pequenas variações, mantendo uma temperatura mais elevada e constante. As temperaturas registradas mostram que a formação de gelo subsuperficial é impossível, já que as temperaturas se mantêm acima da faixa de congelamento, podendo ocorrer pequenas formações de gelo nas camadas superficiais por influência da neve e gelo depositado, mas este não se mantém devido as variações da temperatura.

Foi visualizado certo retardo nas respostas às variações térmicas pelas camadas do solo, onde as variações nas camadas superficiais demoram a ser captadas pelos sensores de subsuperfície. Isto mostra que as camadas que compõem o solo têm pequena capacidade de

propagação da temperatura, podendo ser inferido que a composição dos materiais de solo de cinzas vulcânicas com rochas vesiculadas possui certa capacidade de isolamento térmico, fazendo com que o solo se mantenha a temperaturas acima da ambiente.

Tabela 13. Dados de temperatura registrados de 16/12/10 a 15/12/11 para o Sitio 1.

Mês/Ano	Ar		2cm		10cm		30cm		50cm		80cm	
	Média	DP										
dez/10	-0,45	1,00	-0,01	0,02	0,07	0,04	0,10	0,07	-0,03	0,03	0,31	0,11
jan/11	0,01	1,25	0,67	1,73	0,54	0,63	0,43	0,26	0,36	0,17	0,64	0,23
fev/11	0,26	1,17	0,46	1,73	0,57	0,72	0,87	0,29	0,90	0,17	0,99	0,27
mar/11	-0,05	1,19	0,89	2,00	0,69	0,78	0,70	0,27	0,75	0,18	0,82	0,24
abr/11	0,26	1,10	2,42	3,07	2,35	1,19	2,17	0,28	2,05	0,19	2,18	0,23
mai/11	-	-	3,30	3,85	2,96	1,28	2,81	0,45	2,68	0,39	2,76	0,41
jun/11	-	-	3,12	3,98	3,17	1,19	3,27	0,31	3,18	0,23	3,24	0,25
jul/11	-	-	1,37	3,33	2,10	0,86	2,67	0,32	2,72	0,27	2,74	0,27
ago/11	-	-	1,89	5,34	2,80	1,76	2,81	0,75	2,76	0,59	2,82	0,65
set/11	-	-	1,82	4,54	3,11	1,90	2,96	0,71	2,91	0,54	2,97	0,60
out/11	-	-	2,10	5,25	3,36	1,88	3,32	0,67	3,28	0,48	3,36	0,55
nov/11	-	-	2,24	5,10	2,51	1,59	2,66	0,50	2,72	0,35	2,77	0,40
dez/11	-	-	1,42	3,63	1,06	0,54	1,61	0,20	1,81	0,19	1,84	0,18

O sistema referente ao sitio 2 foi instalado a 4648 m, e pela proximidade de área de grande movimentação turística, optou-se por não instalar o sensor de temperatura do ar, de forma a evitar qualquer tipo de alteração ou vandalismo com o equipamento.

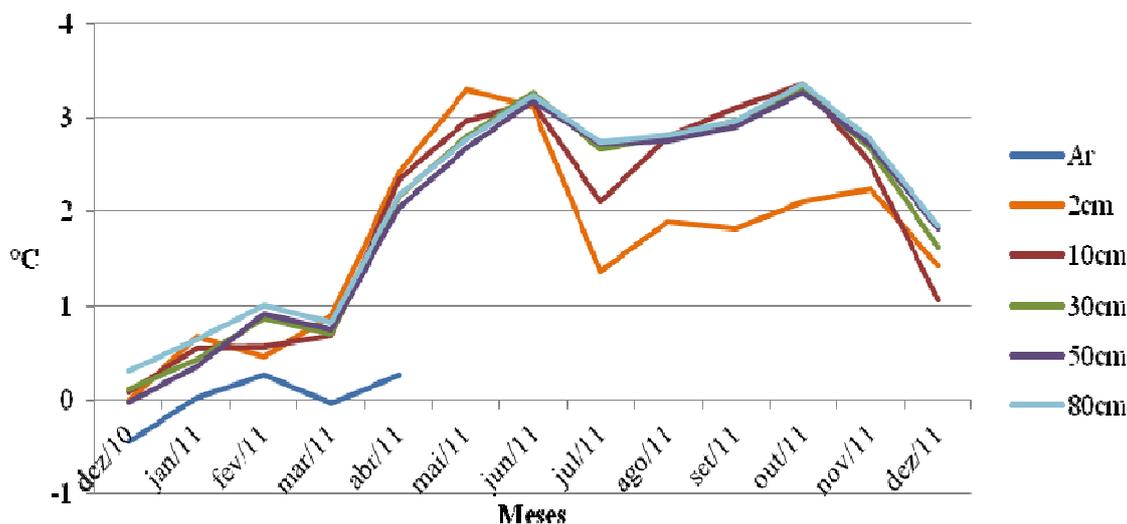


Figura 48. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 1.

O sitio 2 se localiza sobre a linha de neve, região onde a variação de temperatura superficial é grande, pois a linha de neve avança durante a noite chegando a cotas mais baixas e recua durante o dia, pelo aquecimento do ar, indo a cotas mais altas. A composição do solo no sitio 2 é semelhante com a do sitio 1, mas com uma grande camada de deposição de cinza vulcânica. Os dados registrados para o sitio 2 são apresentados na tabela 14.

O comportamento das temperaturas captadas pelos sensores foram as mesmas que para o sitio 1, onde os sensores superficiais apresentaram temperaturas menores do que os sensores subsuperficiais, mas mantendo acima dos 2°C mesmo com a presença de gelo sazonal.

A variação térmica dentro da camada também se manteve, as camadas subsuperficiais apresentam uma menor variação da temperatura ao longo do ano em relação às camadas superficiais, evidenciando uma pequena capacidade de propagação da temperatura ao longo do solo. Os dados também apresentam um pequeno atraso em relação às variações de temperatura nos sensores superficiais e as temperaturas subsuperficiais, evidenciando a capacidade de isolamento térmica do solo (Figura 49). Esse mesmo comportamento foi observado Michel (2005).

Tabela 14. Dados de temperatura registrados de 17/12/10 a 14/12/11 para o Sitio 2.

Mês/Ano	2cm		10cm		30cm		50cm		100cm	
	Média	DP								
dez/10	2,20	1,85	2,10	0,87	2,15	0,67	2,01	0,27	2,16	0,14
jan/11	3,23	2,41	3,19	1,05	3,16	0,80	3,02	0,47	2,99	0,38
fev/11	3,28	2,38	3,25	0,94	3,24	0,65	3,13	0,19	3,13	0,13
mar/11	3,54	2,47	3,40	1,14	3,36	0,83	3,33	0,20	3,41	0,10
abr/11	4,21	3,08	4,37	1,76	4,43	1,42	4,39	0,40	4,28	0,22
mai/11	5,76	4,02	5,63	1,80	5,52	1,38	4,90	0,75	4,66	0,58
jun/11	5,20	3,57	5,41	1,41	5,50	1,00	5,39	0,33	5,25	0,21
jul/11	3,98	3,92	4,22	2,18	4,30	1,77	4,41	0,81	4,41	0,63
ago/11	4,34	7,69	4,88	2,41	4,84	1,73	4,50	0,81	4,36	0,59
set/11	4,03	7,10	4,92	2,26	4,84	1,54	4,70	0,45	4,64	0,26
out/11	3,74	6,51	4,76	1,86	4,80	1,22	4,99	0,37	4,93	0,21
nov/11	3,32	5,11	3,75	1,72	3,80	1,10	4,25	0,34	4,38	0,24
dez/11	2,43	3,45	2,94	1,00	3,05	0,54	3,52	0,13	3,74	0,16

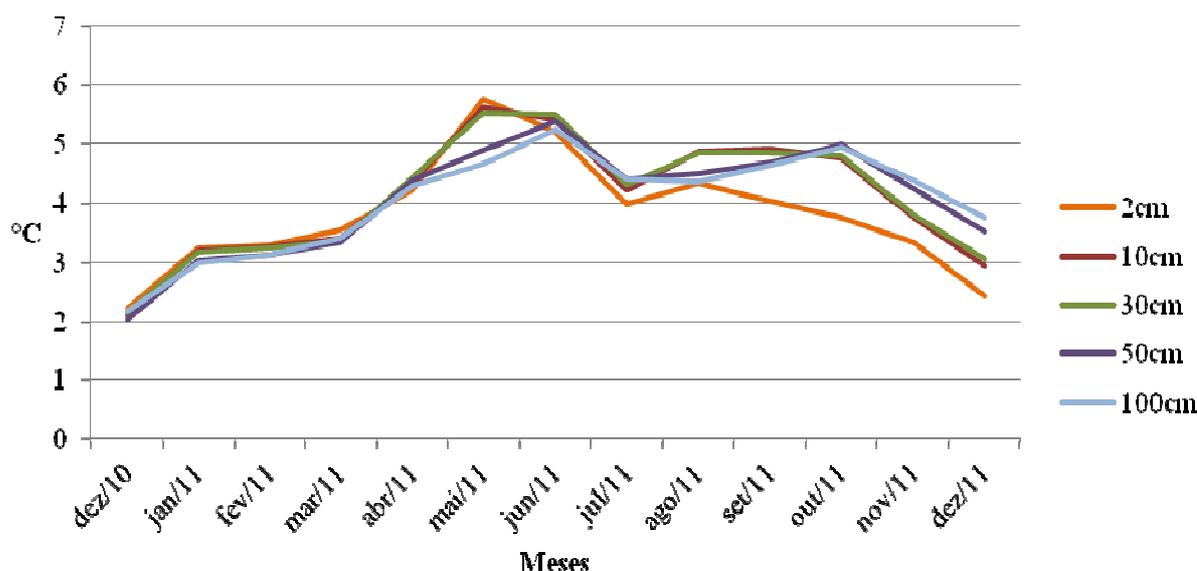


Figura 49. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 2.

O sitio 3, instalado em uma porção baixa da montanha a 4429m, está abaixo da linha de neve. O terreno em que o sistema foi instalado fica coberto de neve apenas nas épocas mais frias do ano (novembro-dezembro-janeiro), onde a linha de neve se prolonga até regiões mais baixas do relevo. A composição do material do sitio 3 é de tephra com grande quantidade de lapilli grosseiro, granulometria entre 5 a 30mm, com uma pequena camada de cinza vulcânica em subsuperfície. Devido aos impedimentos do terreno, o sensor referente a maior profundidade proposta (100cm), foi instalado a 85cm.

Assim como o sistema 1, este também sofreu com avarias que impediram a coleta dos dados, sendo o cabo do sensor do ar cortado em meados de outubro. Como o sistema foi instalado fora da área de transito de turistas por estar equipado com o sistema de coleta de temperaturas do ar, o que justificaria as avarias e a forma que o cabo foi cortado seria o ataque de algum animal.

Nos trabalhos de campo para coleta dos dados, foram vistos bovinos pastando próxima a área onde foi instalado o sistema (Figura 50). Isto comprova o possível ataque de animais aos sistemas de coleta, e como esse se deu em outubro que é o inicio das nevascas, quando diminui a disponibilidade de alimento, os animais se tornam menos seletivos, explicando o ataque.

As temperaturas médias do ar no sitio 3 se mantiveram entre 2 e 4°C durante o período de leitura (19/12/10 a 14/10/11), estando a temperatura do sensor instalado a 2 cm a mais de 2°C acima, mas acompanhando a mesma tendência de variação da temperatura (Tabela 15) .



Figura 50. Animais presentes na área do parque próximos (50m), do sitio 3.

As variações da temperatura no sitio 3 foram mais sutis, com uma amplitude de pouco mais de 1,5°C para as médias do ano. Estas mantiveram o mesmo padrão observado nos outros sistemas de coleta, onde os sensores mais próximos da superfície foram mais sensíveis às alterações térmicas do ambiente do que os sensores em subsuperfície.

Os sensores a 50 e a 85 cm mantiveram uma temperatura na casa dos 5°C durante todo o ano, estando a mais de 2 graus acima da temperatura do ar, mas se mantendo a menos de um grau de diferença para as temperaturas superficiais do solo (Figura 51).

Quando observado o comportamento da temperatura para os três sítios, percebe-se que nos sítios 1 e 2, para os meses onde a camada de neve é presente (novembro a fevereiro), a

amplitude entre as temperaturas superficiais e subsuperficiais é menor do que para os meses onde a camada de gelo é inexistente. Isso mostra que o solo possui uma melhor capacidade de propagar temperaturas baixas, e quando há uma inversão nas condições climáticas externas e as temperaturas caem, estes ainda se mantem com uma temperatura superior a do ambiente. Isso não é observado no sitio 3, já que este sofre pouca influência da cobertura de neve, não sofrendo grandes variações de temperatura.

Tabela 15. Dados de temperatura registrados de 19/12/10 a 14/12/11 para o Sitio 3.

Mês/Ano	Ar		2cm		10cm		30cm		50cm		85cm	
	Média	DP										
dez/10	2,52	1,66	4,46	2,85	4,48	1,28	4,54	0,45	4,86	0,19	5,09	0,09
jan/11	3,08	1,95	4,99	3,41	5,09	1,55	5,14	0,51	5,24	0,20	5,29	0,13
fev/11	2,84	1,68	5,33	3,05	5,38	1,36	5,45	0,42	5,47	0,13	5,48	0,05
mar/11	2,80	1,85	5,26	3,11	5,27	1,42	5,32	0,39	5,47	0,10	5,51	0,06
abr/11	3,08	1,68	6,07	3,30	6,17	1,78	6,25	0,80	6,11	0,18	5,97	0,14
mai/11	3,85	2,06	6,40	3,92	6,43	1,95	6,33	0,74	6,15	0,29	6,06	0,18
jun/11	3,66	1,96	5,66	3,74	5,76	1,76	5,82	0,60	5,93	0,25	5,98	0,14
jul/11	2,48	1,62	4,66	3,33	4,79	1,67	4,94	0,67	5,27	0,31	5,44	0,22
ago/11	2,92	2,21	5,58	4,36	5,59	2,24	5,50	0,96	5,33	0,41	5,28	0,25
set/11	2,96	2,03	5,26	3,93	5,20	2,13	5,09	1,05	5,15	0,37	5,23	0,19
out/11	3,63	2,16	6,29	4,46	6,29	2,17	6,30	0,85	6,08	0,31	5,90	0,24
nov/11	-	-	5,55	4,02	5,55	1,85	5,60	0,65	5,68	0,19	5,73	0,10
dez/11	-	-	5,02	2,93	5,14	1,29	5,38	0,36	5,65	0,13	5,73	0,07

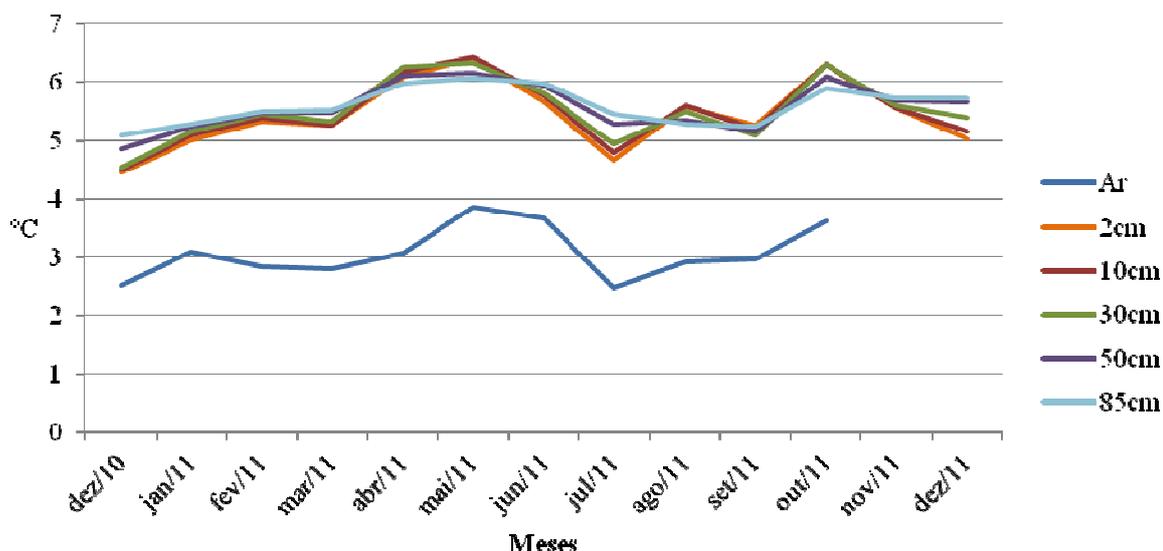


Figura 51. Gráfico das temperaturas médias para o sitio 3.

Em todos os sítios foi observado um efeito de isolamento térmico do solo, onde as variações de temperatura do ambiente demoram a ser propagadas para as camadas mais profundas, tornando estas mais estáveis quanto a sua variação de temperatura.

Zuñiga (2006) detectou anomalias térmicas no vulcão Cotopaxi, uma das áreas de estudo, posicionada a 5700m no flanco norte apresentou uma média de temperaturas acima dos 15°C, chegando a 27,8 em outubro de 2004. Por se tratar de um vulcão ativo, não é possível se determinar qual a influência que sua atividade possui dentro da estrutura do vulcão e na temperatura do solo, porém, nos sítios selecionados não foi observada nenhuma influência geotérmica nos solos.

Jordan et al. (2005), após um estudo temporal de imagens através de estereoscopia, avaliou o comportamento das capas de gelo do vulcão Cotopaxi entre 1956 e 1997, gerando uma mapa de recuo da geleira . Estes observaram que no período entre 1956 e 1976 houve poucas alterações, sendo o maior período de recuo observado entre 1976 a 1997 (Figura 52), sendo a redução na porção norte de 30,9%. Essas observações sugerem que ocorreram diferentes condições climáticas durante os dois períodos, gerando condições climáticas que afetaram o balanço de massa da geleira (Tabela 16).

Tabela 16. Área de redução do glaciar do vulcão Cotopaxi entre 1976 e 1997 (Adaptado de JORDAN et al., 2005)

Flanco	Área do Glaciar (m ²)		Diferença (m ²)	Perda de Glaciar (%)
	1976	1997		
Norte	5.048.234	3.489.263	1.558.970	30,9
Leste	5.566.032	3.829.183	1.736.848	31,2
Sul	5.436.348	3.849.905	1.586.443	29,2
Oeste	3.144.113	2.280.761	863.352	27,5
Total	19.194.726	13.449.113	5.745.613	29,9

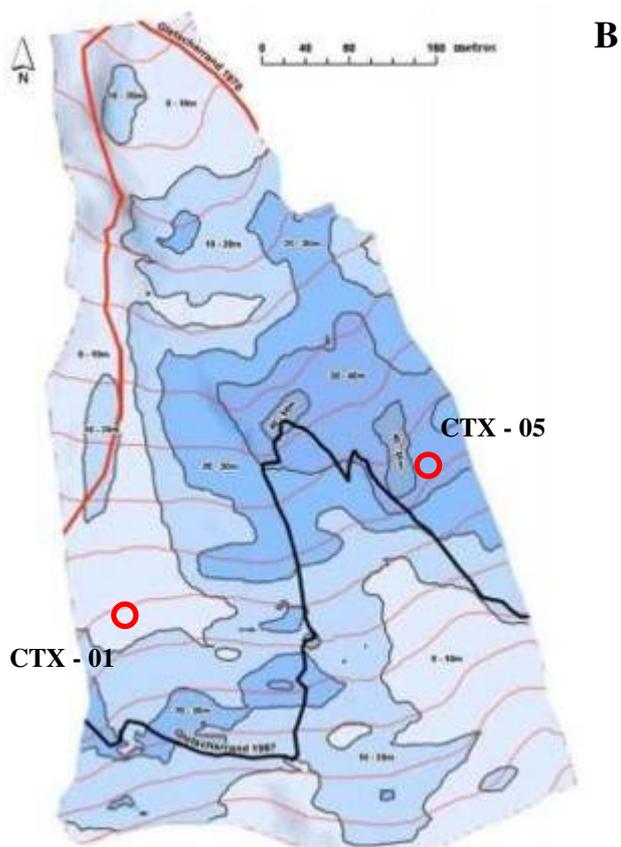
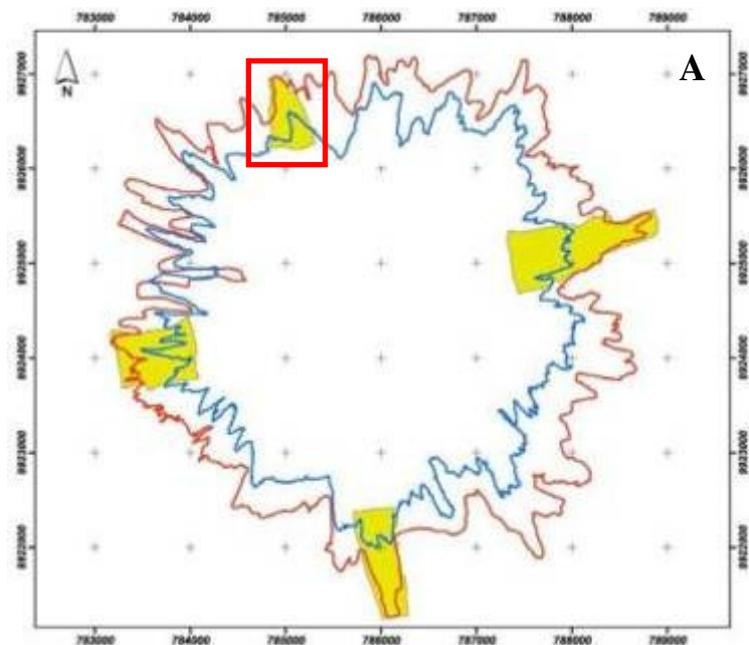


Figura 52. A) Mapa do recuo da geleira do setor norte de 1976 a 1997, mostrando os limites da geleira em 1976 (linha vermelha) e 1997 (linha azul). B) Contorno ligados intervalos de perda de gelo, os intervalos estão de acordo com o volume de gelo perdido, indo de 0 a 10m (azul claro), até 40 a 50m (azul escuro); círculos vermelhos mostrando os perfis descritos neste trabalho (Adaptado de JORDAN et al., 2005).

4.8 Classificação dos Solos

Através da correlação dos dados visualizados juntamente com os dados obtidos em laboratório, foram realizadas as classificações dos perfis descritos, tanto para o sistema WRB como para o “*Soil Taxonomy*”, os resultados são apresentados abaixo.

4.8.1 *World Reference Base for Soil Resources* (FAO)

Os perfis descritos em campo foram classificados de acordo com os critérios do WRB (FAO, 2007). Como cada perfil se apresenta processos pedogenéticos únicos, e alguns atributos foram determinantes para a caracterização e classificação dos mesmos, chegando a classificações diferenciadas, sendo apresentados a seguir os atributos que determinaram o resultado final da classificação.

• CTX – 01

Crioturbação (*Cryoturbation*) - Como o perfil 01 apresentou evidências de crioturbação em subsuperfície (15cm), este se enquadra dentro dos Criossolos. Mesmo a ocorrência de crioturbação não sendo um qualificador, este juntamente com o horizonte crítico, determina a classificação no grupo dos Criossolos. Evidências de crioturbação incluem alterações na estrutura do solo decorrentes da presença do gelo, classificação criogênicas, craqueamento térmico, a segregação de gelo, solos com padrões. Como o monitoramento da temperatura do solo foi realizado somente no período de um ano, esses registros não são suficientes para afirmar se a temperatura do solo acima de 0°C trata-se de um comportamento contínuo ou pontual. Somente com a análise dos dados numa escala de tempo maior será possível avaliar a dinâmica térmica padrão desse solo.

Horizonte Crítico (*Cryic Horizon*) – Horizonte mineral ou orgânico com solo permanentemente congelado. Este deve manter por dois ou mais anos consecutivos, gelo, cementação por gelo ou cristais de gelo facilmente visíveis ou temperatura de 0°C ou menos no solo e água insuficiente para formar cristais de gelo e uma espessura de 5cm ou mais.

Hiperesquelético (*Hyperskeletal*) – que contem menos de 20% (em volume) em média de terra fina em uma profundidade de 75cm da superfície do solo, ou até o contato com a rocha, ou que for a menor profundidade.

Dístrico (*Dystric*) – Que tem uma saturação por bases menor que 50% na maior parte entre 20 e 100cm a partir da superfície do solo ou de 20cm até a rocha ou camada cimentada endurecida, ou em Leptosols, em uma camada de 5cm o mais de espessura, diretamente em cima de rocha contínua, se a rocha contínua começa dentro de 25cm da superfície do solo.

Téfrico (*Tephric*) – Que possui material téfrico (produtos piroclásticos não consolidados, pomes, lapili, cinzas vulcânicas) até uma profundidade de 30cm o mais da superfície do solo ou rocha, o que apresentar menor profundidade. Este qualificador não é apresentado dentro dos Criossolos, mas devido a grande importância do material de origem dentro da pedogênese dos perfis, foi acrescentado este qualificador a classificação do perfil CTX – 01.

• CTX – 02, 03 e 04

Háplico (*Haplic*) – Que possui uma expressão de certas características, (não há um caracterização adicional significativa) e é aplicado pois não se enquadra em nenhum dos outros qualificadores.

Os outros qualificadores aplicados foram Téfrico (*Tephric*) e Dístrico (*Dystric*), estando suas classificações supracitadas.

• **CTX – 05 e 06**

Por apresentarem como característica menos de 20% (em volume) em média de terra fina em mais de 75cm da superfície ou rocha continua, o que está a menor profundidade e sem horizontes cálcico, gípsico, petrocálcico, petrogípsico ou espódico, foi enquadrado dentro da classe dos Leptosols. Estes apresentam como qualificadores os itens hiperesquelético, téfrico e dístrico, onde suas caracterizações se apresentam supracitadas.

A classificação dos perfis foi realizada utilizando os dados observados em campo, as análises químicas e físicas, desta forma, obtendo-se a classificação pedológica segundo o *World Reference Base for Soil Resources*. Os resultados quanto aos grupos de solos de referencia e seus qualificadores são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Classificação dos perfis de acordo com o WRB.

Perfil	Ordem	Qualificador		
		Grupo I	Grupo II	GrupoIII
CTX-01	Cryosol	Hyperskeletal	Dystric	Tephric
CTX-02	Regosol	Haplic	Tephric	Dystric
CTX-03	Reosol	Haplic	Tephric	Dystric
CTX-04	Regosol	Haplic	Tephric	Dystric
CTX-05	Leptosol	Hyperskeletal	Tephric	Dystric
CTX-06	Leptosol	Hyperskeletal	Tephric	Dystric

A classificação dos perfis, de acordo com os critérios de nomenclatura do WRB e os grupos de solo de referencia e seus respectivos qualificadores, é apresentada abaixo:

CTX-01	Hyperskeletal CRYOSOL (Dystric, Tephric) Cryosol
CTX-02	Haplic REGOSOL (Tephric, Dystric)
CTX-03	Haplic REGOSOL (Tephric, Dystric)
CTX-04	Haplic REGOSOL (Tephric, Dystric)
CTX-05	Hyperskeletal LEPTOSOL (Tephric, Dystric)
CTX-06	Hyperskeletal LEPTOSOL (Tephric, Dystric)

4.8.2 Soil Taxonomy (USDA)

A classificação dos solos de acordo com os padrões apresentados pelo *Soil Taxonomy* se inicia com a identificação do regime térmico e de umidade.

De acordo com as divisões de classes de temperatura do solo, o sitio de pesquisa contém quatro perfis (CTX 01, 02, 05 e 06) contidos na classe “*Cryic*” (condições de baixa temperatura). Esta classe é definida como solos que mantem regime de temperatura média anual entre 0 e 8°C, mas não têm *permafrost*. São solos não saturados onde a temperatura média durante o verão varia de 0 a 15°C, comumente apresentam regime *Aquic* (referente a aquoso), devido à ação de geadas (USDA, 2010).

Dois perfis (CTX 03 e 04) foram identificados na classe *Frigid*. A temperatura do solo no regime “frígido” é mais quente no verão do que em solo com o regime *Cryic*, mas sua

temperatura média anual está entre 0 e 8°C e a diferença entre a média do inverno (junho, julho e agosto) e média do verão (dezembro, janeiro e fevereiro), é aproximadamente 6°C ou mais nos primeiros 50 cm abaixo da superfície do solo.

Como cada perfil apresentaprocessos pedogenéticos únicos, alguns atributos foram determinantes para caracterizar e classificá-los. Assim, chegou-se a classes diferenciadas, sendo apresentados a seguir os atributos que determinaram a classe final.

• CTX - 01

Material Gélido (*Gelic Materials*) – Este é definido comominerais ou materiais orgânicos do solo que mostram evidências de crioturbação e/ou segregação de gelo na camada ativa (camada degelo sazonal) e/ou a parte superior do *permafrost* (USDA, 2010). Como o perfil 01 apresentou evidências de crioturbação em subsuperfície (15cm), logo este se enquadra dentro do item ‘material gélido’, se enquadrando dentro da ordem dos Gelisols.

• CTX – 02, 03 e 04

Horizonte Câmbico (*Cambic Horizon*) - É um horizonte resultante de alterações físicas, transformações químicas, remoção ou mais desses processos. Deve possuir mais de 15 cm ou mais de espessura e deve atender a todos os seguintes requisitos:

Ter classe de textura de areia muito fina, areia muito fina argilosa, ou mais fino; e Mostrar evidências de alteração em uma das seguintes formas:

I - Condições áquico (*aquic*) dentro de 50 cm da superfície do solo ou drenagem artificial e todos os seguintes:

-A estrutura do solo ou a ausência de estrutura de rocha, incluindo estratificações fina em mais de metade do volume, e

- As cores que não mudam por exposição ao ar, e

- de cores dominantes, úmido, nas faces dos pedos ou na matriz da seguinte forma:

Valor de 3 ou menos e chroma de 0, ou

Valor de 4 ou mais e chroma de 1 ou menos, ou

Qualquer valor, chroma de 2 ou menos, e as concentrações de redox, ou

II - Não tem a combinação de condições áquico (*aquic*) dentro de 50 cm da superfície do solo ou drenagem artificial e cores, úmido, conforme definido no item acima, e tem a estrutura do solo ou a ausência de estrutura de rocha e uma ou mais das seguintes propriedades:

- Maior valor, cromas maiores, mais vermelho, matiz ou maior teor de argila do que o horizonte subjacente ou um horizonte sobrejacente.

O perfil CTX 02, por apresentar regime áquico, se enquadra no item A, com esse regime dentro de 50cm, com estrutura, suas cores não mudam com a exposição ao ar e o valor é 4 ou maior, com cromas 1 ou menor. O horizonte que se enquadra nestes itens é o C3, sua descrição segue abaixo:

• CTX - 02

2C3 24-66cm; 3,5°C; cinzento (5YR 5/1, seca) e cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); areia; grãos simples e blocos subangulares médios, fraca, friável; sem fragmentos; não pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.

Os perfis CTX 03 e 04, sem regime áquico, são identificados pelo item B, não têm regime áquico dentro de 50cm, com estrutura, suas cores não se alteram com a exposição ao ar e o valor é 4 ou maior, com croma 1 ou menor; além de valores maiores em pelo menos um dos seguintes itens, croma, matiz, teor de argila ou mais vermelho que o horizonte subjacente ou um horizonte sobrejacente. O horizonte que se enquadra nestes itens é apresentado abaixo:

• **CTX - 03**

2C3 20-40cm; 5,4°C; cinzento (2,5YR 5/1, seca) e cinzento-escuro (2,5YR 4/1, úmida); areia; maciça, solta; sem fragmentos; não pedregosa; não aparente; ligeira; transição plana e abrupta.

O valor presente no horizonte C3 é 4, e em seu horizonte subjacente (2C4) é de 2,5, apresentando assim valor maior que o horizonte subjacente.

• **CTX - 04**

2B2 55-70cm; 6,5°C, cinzento (5YR 5/1, seca) e cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); franco; blocos angulares médios, fraca, friável; sem fragmentos, não pedregoso; presente; ligeira; transição plana e clara

O teor de argila no horizonte 2A3 é de 18% e valor 4, e em seu horizonte subjacente (C1) é de 6% para argila e seu valor é 2,5, apresentando desta forma teor de argila e valor maior que o horizonte subjacente.

Estes perfis se enquadram na ordem dos Inceptisols, sendo sua classificação diferenciada pelo regime de umidade em que se encontra (Tabela 18).

• **CTX – 05 e 06**

Os perfis CTX 05 e 06, por não se apresentarem nenhum atributo que os qualificassem em alguma ordem, foram enquadrados na ordem dos Entisols.

A classificação dos perfis com base nos dados de campo e nas análises químicas e físicas, de acordo com o *Soil Taxonomy*, permitiu estabelecer as classes, em nível de ordem, subordem, grande grupo e subgrupo, apresentadas na Tabela 18, a seguir.

Tabela 18. Classificação dos perfis de acordo com o *Soil Taxonomy*(USDA, 2010).

Perfil	Regime Umidade	Regime Temperatura	Ordem	Sub Ordem	Grande Grupo	Sub Grupo
CTX-01	Aquic	Cryic	Gelisols	Othels	Aquorthels	Vitrandic Aquarhels
CTX-02	Aquic	Cryic	Inceptisol	Cryepts	Dystro Cryepts	Aquandic Dystrocryepts
CTX-03	Ustic	Frigid	Inceptisol	Ustepts	Dystrustepts	Vitrandic Dystrustepts
CTX-04	Ustic	Frigid	Inceptisol	Ustepts	Dystrustepts	Vitrandic Dystrustepts
CTX-05	Aquic	Cryic	Entisol	Aquent	Cryaquent	Aquandic Cryaquent
CTX-06	Aquic	Cryic	Entisol	Aquent	Cryaquent	Aquandic Cryaquent

A classificação final dos perfis, de acordo com a nomenclatura do *Soil Taxonomy* no nível de subgrupo, dentro do que é possível avaliar com os dados dos solos, é apresentada a seguir:

CTX-01	Vitrandic Aquarthels
CTX-02	Aquandic Dystrocryepts
CTX-03	Vitrandic Dystrustepts
CTX-04	Vitrandic Dystrustepts
CTX-05	Aquandic Cryaquent
CTX-06	Aquandic Cryaquent

Os atributos diagnósticos observados não apresentam grandes diferenças, sendo similar para ambos os sistemas, *Soil Taxonomy* e WRB. Como as características pedológicas marcantes nesses solos estão mais ligadas ao material de origem (material tétrico), esse se apresenta como um dos principais elementos qualificadores. Outro qualificador importante são as características químicas dos solos, neste caso, por serem distróficos.

O sistema do USDA (*Soil Taxonomy*), por levar em consideração os regimes climáticos no local onde se encontram os perfis e no solo, apresenta maior quantidade de informações na classificação, aumentando a base de informações e fornecendo um panorama do clima na região onde o perfil se localiza.

5. CONCLUSÕES

- A vegetação do flanco norte do Cotopaxi é composta basicamente por espécies que compõem o ecossistema do Páramo, sendo dividida em classes bem demarcadas pela ocorrência de neve, com limite de presença a partir de 4.700m, com ocorrência de espécimes altamente adaptadas;

- A análise petrográfica demonstra um domínio de material Andesítico-Riolítico juntamente com escórias vulcânica, com presença abundante de minerais facilmente intemperizáveis na fração solo;

- Apesar das diferentes composições de material expelido durante as erupções do vulcão Cotopaxi ter gerado camadas morfológicamente distintas entre si, os difratogramas analisados apresentaram comportamento mineralógicos semelhante ao longo do perfil em todos os pontos coletados, sendo observadas diferenças na cristalografia quando analisados os perfis em posições topográficas diferentes, mostrando diferentes efeitos do intemperismo de acordo com a posição do perfil;

- A presença de minerais facilmente intemperizados nas frações mais finas indica predomínio de intemperismo físico nos solos da área de estudo;

- Os resultados analíticos demonstraram comportamento errático dos teores de macro e micro elementos durante as análises intra e entre os perfis. Esse comportamento pode estar relacionado ao tamanho das partículas e o quão vesiculado é o material de cada camada, o que irá interferir na superfície de contato, bem como a espessura da camada de deposição, que irá interferir diretamente no potencial de lixiviação, alterando as condições químicas através do controle da concentração da solução do solo;

- Os solos estudados apresentam-se fracamente intemperizados, cuja pedogênese limita-se as camadas superficiais, apresentando teores elevados dos elementos de Na, P e K relacionados com a presença de minerais ricos nesses elementos;

- Os registros mostram que a temperatura do solo se mantém acima das temperaturas do ambiente, sendo este aumento gradual, quanto mais profundo, menor é a sensibilidade do solo diante das temperaturas externas. A camada de neve quando presente diminui a amplitude entre as temperaturas superficiais e subsuperficiais;

- Como o monitoramento da temperatura do solo foi realizado somente no período de um ano, esses registros não são suficientes para afirmar se a temperatura do solo acima de 0°C trata-se de um comportamento contínuo ou pontual. Somente com a análise dos dados numa escala de tempo maior será possível avaliar a dinâmica térmica padrão desse solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante as análises granulométricas foram observadas discrepâncias entre os valores observados pelos métodos de determinação com os dispersantes hidróxido de sódio (NaOH) e hexametáfosfato de sódio (NaHMP). Este fato ressalta a grande influência do método de determinação nos resultados, sendo necessários testes de metodologia, principalmente em se tratando de estudos em áreas ímpares, como a Antártica e a Cordilheira Andina.

A mesma observação é válida para as lâminas preparadas para as análises de difratometria de raios-X, que foram feitas com argila proveniente da dispersão do solo e do sifonamento. O dispersante padrão utilizado é o NaOH, o qual subestimou a quantificação dos teores de argila na análise granulométrica dos solos vulcânicos desse estudo.

Os trabalhos em ambientes de grandes elevações exigem um período de aclimação da equipe, para reduzir os efeitos decorrentes da dificuldade do organismo em absorver oxigênio para suprir as necessidades a que estamos impondo. Estes efeitos são conhecidos como “Mal Agudo de Altitude”, este começa a surtir efeitos quando se ultrapassa altitudes acima de 2.800 m, e é acentuado com o aumento da altitude, gerando uma sensação de falta de ar, dores de cabeça e sangramento nasal. Portanto, o planejamento do campo deve ser feito levando em conta este tempo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, E.; TOUKERIDIS, T. El volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha. Proyecto de Prevención de los Riesgos Asociados con la Erupción del Volcán Cotopaxi - PREVOLCO, 2004-2005. 48p. 2005.
- ALEMÁN, A.; RAMOS, V.A. Northern Andes. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Org). Tectonic evolution of South America. International Geological Congress, Río de Janeiro. No. 31, p. 453-480. 2000.
- ANDRADE, D.; HALL, M.; MOTHE, P.; TRONCOSO, L.; EISSEN, J.; SAMANIEGO, P.; EGRED, J.; RAMÓN, P.; RIVERO, D.; YEPES, H. Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Instituto Geofísico de La Escuela Politécnica nacional – Instiut de recherche pour le Développement. Quito, Corporación Ed. Nacional. 157 p. 2005.
- BARRIGA, F. Las erupciones del Cotopaxi. Direccin Nacional de Defensa Civil. Quito. 32 p. 1988.
- BELTRÁN, K.; SALGADO S.; CUESTA F.; LEÓN-YÁNEZ S.; ROMOLEROUX K.; ORTIZ E.; CÁRDENAS A.; VELÁSTEGUI A. Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA . Quito. 149 p. 2009.
- BIRKELAND, P. W. Soil and Geomorphology. New York: Oxford University, 372p. 1984.
- BOCKHEIM, J. G.; BALKS, M. R.; MCLEOD, M. ANTPAS Guide for Describing, Sampling, Analyzing, and Classifying Soils of the Antarctic Region. ANTPAS soil description manual. 12p. 2006.
- BOCKHEIM, J. G. & TARNOCAI, C. Recognition of cryoturbation for classifying *permafrost*-affected soils. *Geoderma*, v.81, p. 281-293, 1998.
- CHAGAS, C. DA S. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica de domínio de mar de morros. UFV, 223 p. 2006. (Tese de Doutorado).
- CHEN, P. Y. Table of key by lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. Bloomington, Dep. Nat. Res. Geol. Sur. 67p. 1977.
- CHRISTY, U. Geopedia – *Permafrost*. 2008. em <http://ngm.nationalgeographic.com/geopedia/Permafrost>, acesso em 19/08/2010.
- COELLO, F. Actualización del Plan de Manejo del Parque Nacional Cotopaxi, Quito-Ecuador. 260 p. 1996.
- CONDESAN, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, 2009. Disponível em http://www.condesan.org/data/atlas_cajamarca/Clima.htm, acesso em 19/08/2010.
- DIXON, T. H. SAR Interferometry and Surface Change Detection. University of Miami, Rosenstiel School of marine and Atmospheric Sciences, RASMAS TR 95-003, 1995.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p. 1997.
- ESRI. 2011. Arcgis 10 licenciado para o laboratório Geoflora, UFRRJ. www.esri.com
- FAO, Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 2007.

- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Guia para la descripción de suelos. 4 ed. Roma: FAO, 99 p. 2009.
- FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C. de; WAPPLER, D.; KANIESKI, A. J.; GIRELLI, D.; PEDROTTI, J. Exposição solar e propriedades do solo em Santa maria-RS. R. bras. Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 377-381, jul-set, 2005
- FIDALGO, E. C. C.; CARVALHO JÚNIOR, W.; GODOY, M. D. P. Análise da qualidade do modelo digital de elevação para representação da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3785-3791.
- FONSECA, G. F. & NISHIYAMA, L. Comportamento da dispersibilidade de solos argilosos das chapadas da região de Uberlândia/MG. II simpósio regional de geografia - "perspectivas para o cerrado no século XXI". Uberlândia, Brasil. 26-29 Novembro 2003. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia.
- FONSECA, A. C. Geoquímica dos elementos Terras raras (ETR), 61p. Disponível em <http://www.geobrasil.net/geoinfo/docs%5Cgeoquimica.pdf>. Acesso em 05/01/2012.
- FRANCELINO, M. R. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solo, geomorfologia, cobertura vegetal da Península Keller. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 102f. (Tese de Doutorado).
- FRENCH, H., M. The Periglacial Environment, Londres: Longman, 1976, 309 p.
- FOSTER, R. B.; METZ, M. R.; BETZ, H.; THEIM, T. Plantas llamativas de Cotopaxi. Rapid Color Guide 67. The Field Museum, Chicago. 1999. 2p.
- FU, P.; RICH, P. M. The solar analyst 1.0 manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), Estados Unidos da América. 49 p. 2000.
- GARLEFF, K. & STINGL, H. Geomorphologische aspekte aktuellen und vorzeitlichen permafrostes in argentinien. Zbl. Geol. Palaont. I, 1367-1374. 1986.
- GARRISON, J. M.; DAVIDSON, J. P.; HALL, M.; MOTHESE, P. Geochemistry and Petrology of the Most Recent Deposits from Cotopaxi Volcano, Northern Volcanic Zone, Ecuador. Journal of Petrology Advance Access, 38 p. 2011.
- GERRARD, A. J. Soils Geomorphology. Londres, Chapman & Hall. 288 p. 1992.
- GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, 19: 319-328, 1960.
- HARRIS, S. A.; FRENCH, H. M.; HEGINBOTTOM, J. A.; JOHNSTON, G. H.; LADANYI, B.; SEGO, D. C.; VAN EVERDINGEN, R.O. Glossary of *Permafrost* and Related Ground-Ice Terms. National Research Council Canada. Ottawa, Canada, 1988.
- HAEBERLI, W.; GUODONG, C.; GORBUNOV, A.; HARRIS, S. Mountain *Permafrost* and Climatic Change. *Permafrost and Periglacial Processes* 4 (2): 165 - 174. 1993.
- HAEBERLI, W. & GRUBER, S. Chapter 14 - Global Warming and Mountain *Permafrost* in MARGESIN, R. (editor) *Permafrost Solis*. Soils Biology v.16, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 205-218, 2009.
- HALL, L. M. & WOOD, C. A. Volcano-tectonic segmentation of the Northern Andes. *Geology*, Vol. 13, p. 203-207. 1985.
- HALL, L. M.; MOTHESE P.; HIDALGO, S. Map of Volcanic History of Cotopaxi Volcano, Ecuador, Quito, Instit. Geográfico Militar and the Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional, Scale 1:50.000. 2005.

HALL, M.; MOTHESE, P. The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bull Volcanol* 70 :675–702. 2008.

HEDBERG, O. Features of afroalpine plant ecology. *Acta Phytogeogr. Suecica* 49: 1-144. 1964. In: LUTEYN, 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*, 278 p. 1999.

HEINZ EBERT, MUSEU "HEINZ EBERT". Departamento de Petrologia e Metalogenia Instituto de Geociências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/museudpm/>. Acesso em 12/01/2012.

HERRMANN, R. Vertically differentiated water balance in tropical high mountains-- with special reference to the Sierra Nevada de Santa Marta/Colombia. Pp. 262-273. *International Association of Scientific Hydrology. Proc. Reading Symp.* 1970.

HINOJOSA, F. C. Actualización Del Plan De Manejo Parque Nacional Cotopaxi. Instituto Ecuatoriano Florestal y de Areas Naturales y Vida Silvestre - INEFAN. Quito, 188 P. 1996.

HRADECKA, L.; HRADECKY, P.; KRUTA, M.; LYSENKO, V.; MLCOCH, B; PAULO, A. La exploración geológica del volcán Cotopaxi en el Ecuador. *Inst. Geológico Central, Prague, Czech.* 56 p.1972.

HUNCKLER, R. V.; SCHAETZL R. J. Spodosol development as affected by geomorphic aspect, *Soil Science Society of American Journal.*, v.61, 1105-1115 p. 1997.

HUTCHINSON, M. F. & GALLANT, J. C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: Wilson, J. P. & Gallant, J. C. (Eds.) *Terrain analysis: principles and applications.* New York: John Wiley & Sons, 29-50 p. 2000.

IGM, Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Machachi: folha ÑIII-E2, 3891-I. Pichincha, 2008. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Publicação 04/2011. Disponível em <http://www.geoportaligm.gob.ec/index2.html>. Acesso em 05/2011. 2011.

IGM, Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Cotopaxi: folha ÑIII-F3, 3991-VI. Latacunga, 1996. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Publicação 04/2011. Disponível em <http://www.geoportaligm.gob.ec/index2.html>. Acesso em 05/2011. 2011a

IGM, Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Sincholagua: folha ÑIII-D3, 3992-III. Pichincha, 2008. Escala 1:50.000. Carta topográfica. Publicação 04/2011. Disponível em <http://www.geoportaligm.gob.ec/index2.html>. Acesso em 05/2011. 2011b

INAMHI, Anuario Metereologico 2008. Instituto Nacional de Meterologia e Hidrologia - INAMHI. Quito, Ecuador. Nº 48, 121 p. versão preliminar 2010.

JAVELLAS, R. & THOURET, J. C. Estudio de las temperaturas de las estaciones meteorológicas del transecto Parque Los Nevados (Cordillera Central, Colombia). Pp. 241-278. 1995.

JARVIS A, RUBIANO J, NELSON A, FARROW A, MULLIGAN M. Practical Use of SRTM Data in the Tropics: Comparisons with Digital Elevation Models Generated from Cartographic Data. Working Document 198. International Center for Tropical Agriculture: Cali, Colombia. 32 p. 2004.

JORDAN, E.; UNGERRECHTS, L.; CÁCERES, B.; PENAFIEL, A.; FRANCOU, B. Estimation by photogrammetry of the glacier recession on the Cotopaxi Volcano (Ecuador) between 1956 and 1997. *Hydrological Sciences*, 50(6), 949-961. 2005.

- KUBOTA, T. Surface chemical properties of volcanic ash soil - especially on phenomenon and mechanism of irreversible aggregation of the soil by drying. *Bull. Natl. Inst. Agric. Sci.*, B-28: 1-74. 1976.
- LITTLE, M. A. Human populations in the Andes: The human science basis for research planning. *Mountain Res. Developm.* 1: 145-170. 1981. In: LUTEYN, 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*, 278 p. 1999.
- LUTEYN, J. L. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*. 278 p. 1999.
- LUTEYN, J. L. Fitodiversidad y conservación del páramo. *Arnaldoa* 4: 15-23. 1999a.
- MAE, Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2010. Em <http://www.ambiente.gob.ec/contenido.php?cd=1741> acesso em 14/09/2010.
- MAEDA, T.; TAKENAKA, H.; WARKENTIN, B. P. Physical properties of allophane soils. *Adv. Agron.*, 29:229-264. 1977.
- MANI, M. S. The vegetation of highlands. Pp. 127-139. 1980. In: LUTEYN, 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*, 278 p. 1999.
- MARK, B.G. & SELTZER, G.O. Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962–1999): spatial distribution of mass loss and climatic forcing. *Quaternary Science Reviews* 24:2265–2280, 2005.
- MENA, P., MEDINA G. & HOFSTEDE R.G.M. (eds.). *Los Páramos del Ecuador. Proyecto Páramo y Abya Yala*, Quito. 1-24 p. 2001.
- MESTANZA, F. J. *Guía Interpretativa del Parque Nacional Cotopaxi - Guía Internacional de Montaña*. Ministerio de Turismo del Ecuador. ASEGUM-UIAGM. Quito, 67 p. 2009.
- MICHEL, R.F.M. *Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de Entorno da Ponta LLano, Antárca Marítima*. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa. 2005. 162f. (Tese de Doutorado).
- MOTHES, P.A. *Cotopaxi Volcano and the Surrounding Valley, Field Guide*. Fourth Conference Cities on Volcanoes, IAVCEI. Quito, Ecuador. 32p. 2006.
- MOTHES, P. A.; HALL, L. M.; ANDRADE, D.; SAMANIEGO, P.; PIERSON, T. C. *Character, Stratigraphy And Magnitude Of Historical Laharsof Cotopaxi Volcano (Ecuador)*. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, *Acta Vulcanologica* Vol.16 (1-2), 2004 : 85-108, Quito, Ecuador. 2004.
- MÜNSELL color. *Soil color chart*. New Windsor: Macbeth, 10p. 1994.
- NASA. *Aster Volcano Archive - AVA*, 2011. Em <http://ava.jpl.nasa.gov/public/2006/10/16/20061016154302.jpg> acesso em 14/03/2011.
- NASA. *SRTM - Shuttle Radar Topography Mission*, 2011. Em www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html acesso em 15/03/2011.
- OSTROUMOV, V. Impact of Freezing on Distribution of Ions in Soils. *Euro. Soil Sci.* 5:614-619, 1998.
- PEDUZZI, P.; HEROLD, C.; SILVERIO, W. Assessing high altitude glacier volume change and remaining thickness using cost-efficient scientific techniques: the case of Nevado Coropuna (Peru). *The Cryosphere Discuss.*, 3: 831–856. 2009.

- PING, C. L.; SHOJI, S.; ITO, T.; TAKAHASHI, T.; MOORE, J. P. Characteristics and classification of volcanic ash derived soils in Alaska. *Soil Sci.*, 148: 8-28. 1989.
- PISTOLESI, M.; ROSI, M.; CIONI, R.; CASHMAN, K. V.; ROSSOTTI, A. AGUILERA, E. Physical volcanology of the post-twelfth-century activity at Cotopaxi volcano, Ecuador: Behavior of an andesitic central volcano. *Geological Society of America - GSA Bulletin*, v. 123; no. 5/6; p. 1193–1215. 2011.
- PISTOLESI, M. Historical analyses and stratigraphy of the post-XII century pyroclastic activity at Cotopaxi volcano, Ecuador: Implication for lahar hazard assessment. *Plinius* n 34: 131 - 138. 2008.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. *Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações*. Lavras, editora UFLA, 2005. 192p.
- RICH, P. M. et al. Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*, p 524-529. 1994.
- RUNDEL, P. W. Tropical alpine climates. Pp. 21-43. 1994. In: LUTEYN, 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature*. *Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*. 278 p. 1999.
- SAMANIEGO, P.; MARTIN, H.; MONZIER, M.; ROBIN, C.; FORNARI, M.; EISSEN, J.; COTTEN, J. Temporal Evolution of Magmatism in the Northern Volcanic Zone of the Andes: The Geology and Petrology of Cayambe Volcanic Complex (Ecuador). *Journal of Petrology*. Vol 46 (11): 2225-2252. 2005.
- SANTOS, H.; LAMOSA, P.; COSTA, M. S. Extremófilos: microrganismos à prova de agressões ambientais extremas. *Boletim de Biotecnologia* 69: 2-10, 2001.
- SKLENAR, P. & JORGENSEN, P. M. Distribution patterns of páramo plants in Ecuador. *Journal of Biogeography*, 26, 681–691. 1999.
- SHISHOV, L.L.; TONKONOGOV, V.D.; LEBEDEVA, I.I. *Russian Soil Classification*. Academy of Agricultural Science, Moscow. 236 pp. 1998.
- SHOJI, S.; NANZYU, M.; DAHLGREN, R.A. *Volcanic Ash Soils: Genesis, properties and utilization*. *Developments in soil science* 21. 277pp. 1993.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MMANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. DOS A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Scientia Agraria, Curitiba*. v.9, n.3, p. 317-329, 2008.
- SMITH, G. D. A preliminary proposal for the reclassificação of Andepts and some andic subgroups (The Andisol proposal, 1978). *New Zealand soil bureau record, DSIR, Lower Hutt*, 96p. 1978.
- STERN, C. R. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 31, No. 2, p. 161-206. 2004.
- THORN, C.E. & DARMODY, R.G. *Permafrost* and ground temperature regimes: A challenging soil classification problem in low arctic and alpine environments. *Geografisk Tidsskrift* 102: 1–9, 2002.
- THOMPSON, L.G.; THOMPSON, E. M.; BRECHER, H.; DAVIS, M.; LEÓN, B.; DON LES, LIN P.; MASHIOTTA, T. K. Abrupt Tropical Climate Change: Past and Present. *PNAS*, vol 103, num 28. 10536-10543 p. 2006.

- TROMBOTTO, D. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and *Permafrost* Conditions in South America. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. 21 (112), 33-55 p. 2000.
- TROMBOTTO, D. Untersuchungen zum periglacialen Formenschatz und zu periglacialen Sedimenten in der 'Lagunita del Plata,' Mendoza, Argentinien. *Heidelberger Geographische Arbeiten, Heft 90*. 171 pp. 1991.
- TUMEL, N. Chapter 6 – *Permafrost*. In: SHAHGEDANOVA, M. (Editor), *The Physical geography of Northern Eurasia*. Oxford University Press. New York, EUA. 149-168 p. 2002.
- UNESCO. Case studies on climate change and world heritage. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Heritage Convention, France. 80 p. 2007.
- UNESP, Museu "Heinz Ebert", Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/museudpm/>. Acesso em 01/12/2011.
- USDA, U.S. Department of Agriculture. Soil Taxonomy ,11nd Ed. by Soil Survey Staff, Agriculture Handbook, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington DC. 869 p. 2010.
- USGS, U.S. Geological Survey. Geologic Hazards at Volcanoes by Bobbie Myers and Carolyn Driedger, 2008. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/gip/64/>. Acesso em 19/09/2011.
- USGS. U.S. Geological Survey. Glossary of volcanic terms. Disponível em: <http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/index.php>. Acesso em 10/09/2010.
- VAN EVERDINGEN, R. Multi-language glossary of *permafrost* and related ground-ice terms. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. 306p. 2005.
- VARESCHI, V. Flora de los páramos. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 1970. In: LUTEYN, 1999. Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature. *Memoirs of the New York Botanical Garden Volume 84*. 278 p. 1999.
- VÁSCONEZ, P. M.; HOFSTEDE, R. Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz, 2006: 91-109.
- VON LOZINSKI, W. Die periglaziale fazies der mechanischen verwitterung. *Comptes Rendus, XI Congres Intrenationale Geologie, Stockholm 1910, I*: 39-1053. 1912.
- VUILLE, M.; FRANCOU, B.; WAGNON P.; JUEN, I.; KASER G.; MARK, B. G.; BRADLEY, R.S. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89: 79–96. 2008.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37:29-37. 1934.
- YEPES, H.; FALORNI, G.; NAVAS, O.; ANDRADE, D. Cotopaxi Volcano. Lahars on the southern drainage, Field Guide. Fouth Conference Cities on Volcanoes, IAVCEI. Quito, Ecuador. 12p. 2006.
- ZEUNER, F. E. The Pleistocene period: Its climate, chronology and faunal successions. *Ray society*. 1945. 278 p.
- ZUÑIGA, D.R.R. Estudio de las anomalías térmicas en el volcán Cotopaxi en el periodo 2002-2005. Tesis Ingeniería Geológica (IGEO), Escuela Politécnica Nacional. 152 p. 2006.

8. GLOSSÁRIO

Avalanches de detritos (vulcânicos) - Mistura de solo seco ou úmido e rochas vulcânicas que deslizam do vulcão em altas velocidades. Eles geralmente ocorrem em estratovulcões, e estão entre os fenômenos vulcânicos mais perigosos (ANDRADE et al., 2005).

Bombas e Blocos Vulcânicos – Fragmentos com diâmetro superior a 64mm, que são expulsos durante uma explosão vulcânica. Se for expulso em forma sólida, são chamados de blocos, se são expulso em forma semi-sólido ou plástico, são chamados de bombas (HALL et al., 2005).

Caldeira – Grande depressão na superfície terrestre, de origem vulcânica, geralmente de forma circular ou elíptica, formados durante gigantescas explosões vulcânicas, onde podem chegar a dezenas de quilômetros de extensão (HALL et al., 2005).

Cinzas (Ash) – As cinzas vulcânicas são compostas por minerais, rocha, e fragmentos de vidro vulcânico menores que 2 mm de diâmetro. São diferentes das cinzas proveniente da queima de materiais (madeira, folhas, etc), resistentes, não se dissolvem em água, e pode ser extremamente pequena (partículas de cinzas inferior a 0,025 mm). São extremamente abrasivas, levemente corrosivo, e eletricamente condutivo, especialmente quando molhado (USGS, 2011).

Fluxos piroclásticos - Compostos de gases, cinzas e blocos de alta temperatura (acima de 300°C) e alta velocidade (superior a 70 km.h⁻¹) que ocorrem durante as fases de erupção explosiva. Eles são comumente conhecidos como "nuvens ardentes" (ANDRADE et al., 2005).

Fumarola (*Fumarole*) – São aberturas de gases vulcânicos que escapam para a atmosfera. Fumarolas podem ocorrer ao longo de pequenas rachaduras ou fissuras longas, em aglomerados caóticos ou campos, e nas superfícies dos fluxos de lava e espessos depósitos de fluxos piroclásticos. Eles podem persistir durante décadas ou séculos, se forem acima de uma fonte de calor persistente ou desaparecer dentro de semanas a meses se eles ocorrerem em cima de um depósito vulcânico fresco, que resfria rapidamente (USGS, 2011).

Gases Vulcânicos – São liberados para a atmosfera durante erupções e a partir do magma. Podem ser liberados continuamente através de solo, por respiradouros vulcânicos, fumarolas e sistemas hidrotérmicos. Os gases mais comuns liberados pelo magma é vapor de água (H₂O), CO₂ (Dióxido de carbono), SO₂ (Dióxido de enxofre), cloreto de hidrogênio (HCl) e outros compostos (USGS, 2011).

Glaciares (*Rock Glaciers*) - Encontrado em encostas, uma massa de fragmentos de rocha e material mais fino que contém um gelo intersticial ou um núcleo de gelo e mostra evidências de passado ou presente movimento. Os glaciares não ocorrem onde há umidade suficiente para formar o gelo intersticial que permite o movimento da massa. Acredita-se que para a sua formação, pelo menos parcialmente, por enterramento do gelo da geleira (HARRIS et al, 1988).

Glaciares ativos (*Active Rock Glaciers*) – Ocorrem onde o há a movimentação do glacial, essa pode chegar até a velocidades de até 50 m por ano e possuir frentes íngremes com declividade maior que o ângulo de repouso. Glaciares ativos podem se tornar inativos, quando o corpo principal cessa seu movimento. A maioria destes glaciares possuem sulcos transversais e sulcos em sua superfície (HARRIS et al, 1988).

IVE - Índice de Explosividade Vulcânica (VEI – Volcanic Explosivity Index) – Índice criado por Chris Newhall (USGS) e Stephen Self (University of Hawaii) em 1982, para fornecer uma medida relativa da explosão de um vulcão, indicando quão poderosas são as erupções vulcânicas. Leva em consideração a quantidade de material vulcânico é jogado fora, em que altura, e quanto tempo dura a erupção, em uma escala vai de 0 a 8, onde um aumento de 1 indica uma erupção 10 vezes mais poderoso (USGS, 2011).

Lahar - (do javanês, 'Lahar' = Avalanche) é a designação dada a um movimento de massa exclusivo das regiões vulcânicas, formado pelo deslocamento ao longo de vales ou de encostas íngremes, em forma de avalanche, de lama composta por materiais piroclásticos, rochas, areia e água, podendo chegar a mais de 100 km.h⁻¹. Os lahars são muito frequentes durante erupções vulcânicas, podendo, contudo, ocorrer mesmo na sua ausência em encostas recobertas por materiais vulcânicos tornadas instáveis por grandes precipitações (ANDRADE et al., 2005).

Lapilli – Fragmento de rocha vulcânica de tamanho entre 2 e 64mm, emitido durante uma explosão vulcânica (USGS, 2011).

Lava – (do italiano, 'Lavare' = Lavar) Lava é a palavra para magma (rocha fundida) quando ele entra em erupção na superfície da Terra. Geólogos também usar a palavra para descrever os depósitos de fluxos de lava solidificada e fragmentos lançados no ar por erupções explosivas (USGS, 2011).

Piroclasto – (do grego 'piros' = fogo e 'clastos' = fragmento) Qualquer fragmento de rocha vulcânica emitido durante explosões vulcânicas, incluindo pedras pomes, cinzas, escórias. Piroclástico: relativo à piroclasto (HALL et al., 2005).

Pliniana, Erupção – Também chamada de "erupções do Vesúvio", são erupções vulcânicas marcadas por sua semelhança com a erupção do Monte Vesúvio em 79 dC (conforme descrito em uma carta escrita por Plínio, o Jovem). As erupções Plinianas são marcadas por colunas de gás e cinzas vulcânicas estendendo até altas camadas da atmosfera (entre 10 e 40km). As características-chave são ejeção de grande quantidade de pedra-pomes, explosão muito poderosa e erupções contínuas de gases. A quantidade de magma explodiu pode ser tão grande que o topo do vulcão pode entrar em colapso, resultando em uma caldeira. Cinzas finas podem depositar em grandes áreas (Hall et al., 2005).

Pomes, Pedra (Pumice) - Rocha vulcânica de cor clara, cheia de cavidades formada pela expansão dos gases vulcânicos durante a subida para a superfície, tornando-a pouco densa e pode ser formada em todos os tipos de magma, basalto, andesito, dacito e riolito (ANDRADE et al., 2005).

Respiradouro (Vent) - Respiradouros são aberturas na crosta da Terra a partir do qual rocha fundida e gases vulcânicos escapam para o terreno ou para a atmosfera. Aberturas pode consistir em uma estrutura circular em forma única, uma fenda alongada grande e fratura ou uma rachadura minúscula terra. A liberação de gases vulcânicos e na erupção de rocha fundida irá resultar em uma variedade de características de construção que variam de acordo com as condições em que estas ocorrem (USGS, 2011).

Tephra – É um termo geral para os fragmentos de rocha vulcânica e lava independentemente do tamanho que são expelidas para o ar por explosões ou transportado para cima por gases quentes em colunas erupção ou fontes de lava. Tephra inclui grandes blocos densos e bombas, e detritos de rocha pequeno e leve, como escória, pedra-pomes, reticulite, e cinzas. Os diâmetros vão diminuindo de acordo com o aumento da distancia do vulcão, o podem ficar suspensa no ar por longos períodos após a erupção, podendo percorrer vários quilômetros (USGS, 2011).

9. ANEXO

Perfil: CTX - 01

Data: 16/12/2010

FAO - WRB: Hyperskeletal CRYOSOL (Dystric, Tephric).

USDA - Soil Taxonomy: Vitrandic Aquarthels

Coordenadas (UTM): E784937/ N 9926559 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 4885

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Relevo local e regional montanhoso, perfil em "scree" Slope em torno de crista estreita (divisor), com declive de 20%, vertente norte do Vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochas andesíticas e riolíticas, com ocorrência de blocos rochosos de grandes dimensões em toda a rampa, bombas piroclásticas, pumice e cinzas vulcânicas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente. Crioturbação ligeira em subsuperfície (15cm).

Regime Climático: Neve (N), regime periglacial, final da linha do glaciário.

Vegetação/ Organismo: Escasso, área coberta por neve. Nas rachaduras e depressões observa-se briófitas e líquens, assim como a *Blakiella* ssp (espécie endêmica).

Permafrost (profundidade): Não observado.

Erosão: Presença de erosão laminar moderada, com deposição de material grosseiro e rochas, oriundos de cotas mais elevadas.

Descrito por: Márcio Rocha Francelino (marcio.francelino@gmail.com) e Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência, porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

C1	0-10cm 0,1°C	Cinzento (10YR 5/1, seca) e preto (10YR 2/1, úmida); areia-franca; grãos simples muito pequenos, solta; fragmentos <10%, moderadamente pedregoso; presente; moderada; transição abrupta e plana.
2C2	10-15cm 0,4°C	10-15cm; Cinzento (5YR 5/1, seca) e Cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, úmida); areia-franca; grãos simples muito pequenas, solta; fragmentos <5%, ligeiramente pedregoso; presente; ligeira; transição ondulada e abrupta.
2C3	15-45cm 0°C	Cinzento-claro (7,5YR 7/1, seca) e Cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia-franca; grãos simples pequenos entremendo fragmento rochoso, solta; fragmentos > 70%, fortemente pedregoso; não aparente; ligeira; transição ondulada e difusa.
2C4	45-80cm+ 0°C	Cinzento (7,5YR 6/1, seca) e cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia; fragmentos >80%, fortemente pedregoso; ausente; ligeiramente úmido.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

- Temperatura do Ar = 0,1°C
- Horizonte 2C2 apresenta cores avermelhadas.
- Presença de matacões em 2C4.
- Situado a 200m do refugio "José Ribas".



Perfil CTX-01



Aspecto geral da área, grande ocorrência de blocos e bombas vulcânicas.



Racomitrium (Grimmiaceae)



Bloco vulcânico apresentado estrias decorrente movimentação de degelo.

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 01	C1	5,54	5,34	-0,20	50,00	9,00	20,80	0,00	0,02	0,00	0,60
	2A2	6,18	5,67	-0,51	25,60	10,00	18,80	0,00	0,02	0,00	0,60
	2B1	6,36	5,69	-0,67	43,60	11,00	14,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C1	6,69	5,70	-0,99	46,50	9,00	17,80	0,00	0,02	0,00	0,60

Perfil	Horizonte	SB	CTC		V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
			(t)	(T)									
CTX 01	C1	0,13	0,13	0,73	17,80	0,00	69,57	0,13	54,50	0,94	58,10	1,40	0,50
	2A2	0,13	0,13	0,73	17,80	0,00	62,88	0,13	55,00	0,75	66,50	1,30	1,47
	2B1	0,11	0,11	0,91	12,10	0,00	58,50	0,13	54,40	1,04	41,20	1,60	1,33
	2C1	0,12	0,12	0,72	16,70	0,00	64,49	0,13	57,50	1,06	50,70	1,70	0,95

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Areia Grossa				Areia Fina				Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)		Silte		Argila		dag/kg (XXX)		
CTX 1	C1	0-10	46	32	19	3	41	46	3	10	Cinza-esquelética
	2A2	10-15	46	35	17	2	42	38	8	12	Cinza
	2B1	15-45	57	24	17	2	59	31	5	15	Média-pômica
	2C1	45-80+	71	18	8	3	-	-	-	-	Média-esquelética

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
 CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente

Perfil: CTX - 02

Data: 17/12/2010

Classificação (FAO - WRB): Haplic REGOSOL (Tephric, Distric).

Classificação (USDA - Soil Taxonomy): Aquandic Dystrocryepts

Coordenadas (UTM): E 784955/ N 9927241 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 4648

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Montanhoso, forte ondulado, "scree" Slope, vertente norte do vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochas andesíticas e riolíticas, com ocorrência de blocos rochosos de tamanho indo de médio a grandes em toda a rampa, bombas piroclásticas, pumice e cinzas vulcânicas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente.

Regime Climático: Páramo Húmido (regime periglacial), temperatura média entre 1,5-3°C e precipitação entre 1000 e 2000mm.ano⁻¹

Vegetação/ Organismo: Tundra pluvial Alpina (TpA) ou superpáramo, ocorrências pontuais Blakiella, assim como alguns líquens e musgos encrostrados em rochas.

Permafrost (profundidade): Não aparente.

Erosão: Presença de erosão laminar moderada, com deposição de material grosseiro e rochas, oriundos de cotas mais elevadas.

Descrito por: Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com) e Márcio Rocha Francelino (márcio.francelino@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência, porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

C1	0-17cm 4,1°C	Cinzento (7,5YR 6/1, seca) e cinzento-muito-escuro (7,5YR 3/1, úmida); areia-franca; granular pequena e grãos simples, fraca, friável; rochas >5%; ligeiramente pedregoso; não aparente; moderada; transição planar e abrupta.
2C2	17-24cm 3,4°C	Cinzento-escuro (5YR 4/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia; maciça, friável; sem fragmentos; não pedregoso; não aparente; ligeira; transição plana e abrupta.
2C3	24-66cm 3,5°C	Cinzento (5YR 5/1, seca) e cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); areia; grãos simples e blocos subangulares médios, fraca, friável; sem fragmentos; não pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
2C4	66-100cm ⁺ 2,6°C	Cinzento (5YR 5/1, seca) e cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, úmida); areia; fragmentos >80%; fortemente pedregoso; ausente; ligeira.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

- Temperatura do Ar = 2,3°C
- Perfil descrito úmido e sob nevasca.
- Horizonte 2C4 com características esqueléticas, composto por material grosseiro.



Perfil CTX-02



Aspecto geral da área, limite entre a transição entre Tundra pluvial Alpina (TpA) e a área com cobertura de neve.



Blakiella ssp (espécie endêmica)



Amostra do material local (Tephra).

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 02	C1	6,26	5,81	-0,45	42,90	12,00	30,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C2	6,46	5,75	-0,71	15,20	11,00	41,70	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C3	6,61	5,76	-0,85	42,00	17,00	28,80	0,00	0,03	0,00	1,00
	2C4	6,95	6,01	-0,94	47,90	14,00	17,80	0,00	0,04	0,00	1,10

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
CTX 02	C1	0,18	0,18	0,98	18,40	0,00	74,40	0,13	58,80	1,83	127,90	3,00	2,00
	2C2	0,23	0,23	1,23	18,70	0,00	78,83	0,13	54,50	0,69	167,40	6,80	2,09
	2C3	0,20	0,20	1,20	16,70	0,00	62,61	0,13	47,50	0,38	111,70	4,10	3,03
	2C4	0,16	0,16	1,26	12,70	0,00	48,37	0,13	53,80	4,53	192,30	3,40	2,20

Perfil	Horizonte	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)				dag/kg (XXX)				
CTX 2	C1	0-17	61	23	13	3	43	42	2	13	Cinza-esquelética
	2C2	17-24	61	26	10	3	57	21	10	12	Cinza
	2C3	24-66	33	57	6	4	32	46	5	17	Cinza
	2C4	66-100+	84	4	9	3	-	-	-	-	Média-esquelética

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
 CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente

Perfil: CTX - 03

Data: 18/12/2010

Classificação (FAO - WRB): Haplic REGOSOL (Tephric, Distric).

Classificação (USDA - Soil Taxonomy): Vitrandic Dystrustepts.

Coordenadas (UTM): E785552/ N 9928574 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 4325

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Relevo local Forte ondulado e regional montanhoso. Meia encosta, com 25% declive, flanco norte do vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochas andesíticas e riolíticas, pumice e cinzas vulcânicas, proveniente de deposições de atividades vulcânicas diversas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente

Regime Climático: Páramo Húmido (regime periglacial), temperatura média entre temperatura 3-6°C e precipitações entre 1000-2000mm.ano-1

Vegetação/ Organismo: Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA) ou “grass páramo”, apresenta grande variedade de espécies rasteiras e musgos, com ocorrência exemplares arbustivos e formação de moitas (*Calamagrostis intermedia*), início de transição para Tundra pluvial Alpina (TpA), apresentado espécimes como *Chuquiraga jussieui* e *Lupinus revolutus*.

Permafrost (profundidade): Não aparente

Erosão: Laminar moderada.

Descrito por: Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com) e Márcio Rocha Francelino (marcio.francelino@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

C1	0-05cm 6,7°C	Cinzento (5YR 5/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia-franca; maciça, solta; sem fragmentos, não pedregosa; presente; moderada; transição plana e abrupta.
C2	05-20cm 5,5°C	Bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seca) e preto (10YR 2/1, úmida); areia; bloco angulares médios a grandes, fraca, friável; fragmentos <5%, ligeiramente pedregoso; presente; moderada; transição plana e abrupta.
2C3	20-40cm 5,4°C	Cinzento (2,5YR 5/1, seca) e cinzento-escuro (2,5YR 4/1, úmida); areia; maciça, solta; sem fragmentos; não pedregosa; não aparente; ligeira; transição plana e abrupta.
2C4	40-55cm 5,4°C	Cinzento (2,5YR 5/1, seca) e (cinzento-avermelhado-escuro (2,5YR 3/1, úmida); areia; grão simples, solta; fragmentos >60%, moderadamente pedregoso; ausente; ligeira; plana e abrupta.
3C5	55-65cm 5,4°C	Cinzento (2,5Y 5/1, seca) e preto (2,5Y 2,5/1, úmida); areia-franca; maciça, grão simples, solta; sem fragmentos, não pedregosa; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
3C6	65-95cm 5,3°C	Cinzento (5YR 5/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia-franca; fragmentos >80%; fortemente pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
4C7	95-110cm 5,3°C	Cinzento-claro (7,5YR 7/1, seca) e cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia-franca; maciça, solta; sem fragmentos, não pedregoso; ausente, ligeira; transição plana e abrupta.
4C8	110-125cm 5,2°C	Cinzento (5YR 5/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia-franca; grão simples, solta; fragmentos <55%, pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
4C9	125-140cm+ 5,8°C	Cinzento (5YR 6/1, seca) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); areia; maciça, solta; sem fragmentos, não pedregosa; ausente; ligeira.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

- Temperatura do Ar = 2,5°C

- Perfil descrito úmido

- Horizonte 3C6 com características esqueléticas, composto por material grosseiro.



Perfil CTX-03



Aspecto geral da área, caracterizada pela cobertura predominante de Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA), iniciando transição para Tundra pluvial Alpina (TpA).



Chuquiraga jussieui



Lupinus revolutus

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 03	C1	6,54	5,68	-0,86	50,30	13,00	20,80	0,00	0,02	0,00	1,00
	C2	6,68	5,54	-1,14	45,90	10,00	16,80	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C3	6,12	5,16	-0,96	20,30	12,00	12,80	0,05	0,03	0,00	1,10
	2C4	6,75	5,70	-1,05	42,70	11,00	21,80	0,00	0,03	0,00	1,00
	3C5	6,66	5,65	-1,01	11,90	14,00	33,80	0,04	0,05	0,00	1,00
	3C6	6,58	5,85	-0,73	89,10	22,00	27,80	0,01	0,04	0,00	1,00
	4C7	6,78	5,66	-1,12	35,20	29,00	53,70	0,00	0,03	0,00	0,80
	4C8	6,91	5,67	-1,24	47,70	25,00	37,80	0,03	0,05	0,00	0,80
	4C9	6,56	5,56	-1,00	59,40	43,00	48,70	0,12	0,08	0,00	1,00

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
CTX 03	C1	0,14	0,14	1,14	12,30	0,00	64,60	0,13	56,40	2,67	97,20	2,90	1,73
	C2	0,12	0,12	1,12	10,70	0,00	60,87	0,13	55,30	0,27	80,90	2,50	1,08
	2C3	0,17	0,17	1,27	13,40	0,00	32,74	0,66	51,60	0,30	72,60	2,60	1,11
	2C4	0,15	0,15	1,15	13,00	0,00	63,19	0,26	57,20	3,77	139,40	8,40	4,71
	3C5	0,28	0,28	1,28	21,90	0,00	52,48	0,40	53,80	0,52	111,90	4,90	5,03
	3C6	0,23	0,23	1,23	18,70	0,00	52,55	0,66	56,90	5,01	168,20	6,70	1,79
	4C7	0,33	0,33	1,13	29,20	0,00	70,75	0,13	57,50	0,43	143,90	4,00	1,45
	4C8	0,30	0,30	1,10	27,30	0,00	54,78	0,26	60,00	0,73	123,70	6,10	3,24
	4C9	0,52	0,52	1,52	34,20	0,00	40,72	0,13	59,20	0,73	68,40	6,00	5,57

Perfil	Horizonte	Prof (cm)	Areia Grossa Areia Fina Silte Argila				Areia Grossa Areia Fina Silte Argila				Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)				dag/kg (XXX)				
	C1	0-5	42	39	16	3	35	53	0	12	Cinza
	C2	5-20	39	51	8	2	40	42	6	12	Média-pômica
	2C3	20-40	35	52	9	4	43	44	0	13	Cinza
	2C4	40-55	77	10	10	3	70	7	17	6	Média-esquelética
CTX 3	3C5	55-65	36	47	15	2	35	46	2	17	Cinza
	3C6	65-95	65	16	16	3	-	-	-	-	Média-esquelética
	4C7	95-110	15	58	25	2	12	55	18	15	Cinza
	4C8	110-125	47	34	15	4	-	-	-	-	Cinza-pômica
	4C9	125-140+	49	36	14	1	-	-	-	-	Cinza-esquelética

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente

Perfil: CTX - 04

Data: 18/12/2010

Classificação (FAO - WRB): Haplic REGOSOL (Tephric, Distric).

Classificação (USDA - Soil Taxonomy): Vitrandic Dystrustepts.

Coordenadas (UTM): E 784539/ N 9930725 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 3979

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Local forte ondulado, regional montanhoso, declive de 35%, terço médio de encosta região dissecada com colina regulares e topo linear, vertente norte do vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochasandesíticas e riolíticas, pomes e cinzas vulcânicas, proveniente de deposições de atividades vulcânicas diversas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente.

Regime Climático: Páramo Húmido (regime periglacial), temperatura média entre temperatura 3-6°C e precipitações entre 1000-2000mm.ano⁻¹

Vegetação/ Organismo: Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA), com abundancia de espécies rasteiras e musgos, com ocorrência exemplares arbustivos e formação de moitas.

Permafrost (profundidade): Ausente.

Erosão: Laminar ligeira.

Descrito por: Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com) e Márcio Rocha Francelino (márcio.francelino@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

A	0-20cm 5,9°C	Cinzeno-escuro (7,5YR 4/1, seca) e preto (7,5YR 2,5/1, úmida); franco-arenosa; granular pequena, fraca, friável, não pedregosa, ausente, transição plana e clara.
Bi	20-35cm 6,4°C	Cinzeno-escuro (10YR 4/1, seca) preto (10YR 2/1, úmida); areia-franca; granular pequena, fraca, friável; fragmentos <5%, ligeiramente pedregoso; presente; moderada; transição plana e abrupta.
2A2	35-55cm 6,3°C	Cinzeno-escuro (7,5YR 4/1, seca) e preto (7,5YR 2,5/1, úmida); areia-franca; grão simples, solta; fragmentos >78%, muito pedregosa; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
2B2	55-70cm 6,5°C	Cinzeno (5YR 5/1, seca) e cinzeno-escuro (5YR 4/1, úmida); franco; blocos angulares médios, fraca, friável; sem fragmentos, não pedregoso; presente; ligeira; transição plana e clara.
3A3	70-97cm 6,3°C	Cinzeno (7,5YR 6/1, seca) e cinzeno-escuro (7,5YR 4/1, úmida); franco; blocos angulares médios a grandes, fraca, friável; sem fragmentos, não pedregoso; não aparente; ligeira; transição plana e clara.
3Bi3	97-110cm 6,3°C	Cinzeno (10YR 5/1, seca) e cinzeno-muito-escuro (10YR 3/1, úmida); franco-arenosa; blocos angulares e subangulares médios, fraca, friável; sem fragmentos, não pedregoso; presente; ligeira; transição plana e abrupta.
3C1	110-135cm 6,3°C	Bruno-oliváceo (2,5Y 4/3, seca) e bruno-oliváceo-escuro (2,5Y 3/3, úmida); areia; grãos simples, solto; fragmentos >60%, muito pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
4C2	135-155cm 6,7°C	Bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca) e bruno-muito-escuro (10YR 2/2, úmida); franco-arenosa; blocos subangulares pequenos, fraca, friável; fragmentos <10%, ligeiramente pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
4C3	155-170cm+ 7,1°C	Bruno (10YR 5/3, seca) e bruno-escuro (10YR 3/3, úmida); areia; grãos simples, solto; fragmentos >60%, muito pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

Temperatura do Ar = 2,9°C; Horizonte A apresentando grande quantidade de M.O.; - Perfil descrito úmido; Horizonte 3C1 com características esqueléticas; Raízes abundantes finas em A e B, poucas médias em 2A2 e comuns finas em 2B2 e 3A3.



Perfil CTX-04



Aspecto geral da área, caracterizada pela cobertura predominante de Páramo Pluvial Sub-Alpino (PpSA).



Azorella pedunculata



Calamagrostis intermedia

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 04	A	6,05	5,20	-0,85	17,90	142,00	32,80	3,43	2,37	0,00	4,50
	Bi	6,14	5,16	-0,98	18,80	67,00	34,80	1,26	0,79	0,00	3,20
	2A2	5,55	4,61	-0,94	7,90	133,00	50,70	1,99	1,47	0,20	8,00
	2B2	5,54	4,68	-0,86	5,90	56,00	47,70	0,84	0,34	0,20	4,80
	3A3	5,47	4,54	-0,93	9,90	109,00	44,70	1,08	0,51	0,29	5,60
	3Bi3	6,26	5,39	-0,87	7,70	55,00	21,80	1,46	0,97	0,00	2,70
	3C1	6,36	5,01	-1,35	7,50	23,00	16,80	0,10	0,08	0,00	1,60
	4C2	5,89	4,98	-0,91	4,50	42,00	52,70	0,94	0,27	0,20	3,50
	4C3	6,13	4,99	-1,14	6,10	29,00	28,80	0,23	0,10	0,00	1,80

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
CTX 04	A	6,30	6,30	10,80	58,30	0,00	2,26	6,26	32,50	2,50	120,30	22,00	0,66
	Bi	2,37	2,37	5,57	42,50	0,00	6,38	2,63	35,70	1,65	196,30	20,30	2,95
	2A2	4,02	4,22	12,02	33,40	4,70	5,22	6,91	16,80	1,66	99,40	63,50	2,99
	2B2	1,53	1,73	6,33	24,20	11,60	11,99	2,30	22,30	0,44	55,90	7,70	11,99
	3A3	2,06	2,35	7,66	26,90	12,30	8,27	3,62	25,50	6,57	94,60	31,30	6,58
	3Bi3	2,66	2,66	5,36	49,60	0,00	3,56	1,98	38,30	2,37	93,40	15,30	4,02
	3C1	0,31	0,31	1,91	16,20	0,00	23,56	0,53	45,60	3,63	141,10	4,70	1,12
	4C2	1,55	1,75	5,05	30,70	11,40	13,09	1,98	24,60	1,03	71,80	11,50	6,86
	4C3	0,53	0,53	0,33	22,70	0,00	23,63	0,53	47,90	2,54	112,70	3,40	1,73

Perfil	Horizonte	Prof (cm)	Areia Grossa				Areia Fina				Argila	Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)				dag/kg (XXX)					
	A	0-20	44	24	23	9	56	19	11	14	Cinza	
	Bi	20-35	51	27	16	6	60	22	6	12	Cinza-esquelética	
	2A2	35-55	17	35	30	18	47	22	19	12	Cinza-pômica	
	2B2	55-70	40	25	25	10	25	31	26	18	Cinza	
CTX 4	3A3	70-97	12	33	41	14	28	32	25	15	Cinza-pômica	
	3Bi3	97-110	71	9	14	6	37	24	21	18	Cinza-esquelética	
	3C1	110-135	91	2	4	3	92	2	3	3	Média-esquelética	
	4C2	135-155	47	29	17	7	-	-	-	-	Média-pômica	
	4C3	155-170+	79	9	10	2	-	-	-	-	Média-esquelética	

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente

Perfil: CTX - 05

Data: 19/12/2010

Classificação (FAO - WRB): Hyperskeletal LEPTOSOL (Tephric, Dystric).

Classificação (USDA - Soil Taxonomy): Aquandic Cryaquent.

Coordenadas (UTM): E 785173/ N 9926606 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 4883

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Relevo local e regional montanhoso, perfil em "scree" Slope em torno de crista estreita (divisor), com declive de 40%, vertente norte do Vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochas andesíticas e riolíticas, com ocorrência de blocos rochosos, bombas piroclásticas, pumice e cinzas vulcânicas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente.

Regime Climático: Neve (N), regime periglacial, final da linha do glaciar.

Vegetação/ Organismo: Ausente.

Permafrost (profundidade): Ausente.

Erosão: Presença de erosão laminar moderada, com deposição de material grosseiros e rochas oriundos de cotas mais elevadas.

Descrito por: Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com) e Márcio Rocha Francelino (márcio.francelino@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

C1	0-17cm 6,7°C	Cinzeno (5YR 5/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia; grão simples, solto; fragmentos >50%, pedregoso; ausente; moderada; transição plana e clara.
C2	17-40cm 1,7°C	Bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seca) e preto (10YR 2/1, úmida); areia-franca; bloco angulares médios a grandes, fraca, friável; fragmentos >30%, pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
C3	40-62+cm 0,6°C	Cinzeno (2,5YR 5/1, seca) e cinzeno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/1, úmida); franco-arenosa; grão simples, solta; fragmentos >60%, moderadamente pedregosa; ausente; ligeira.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

- Temperatura do Ar = -1,5°C.

- Perfil descrito próximo ao refugio José Ribas.



Perfil CTX-05



Aspecto geral da área, perfil situado próximo ao Refúgio “José Ribas”.



Antiga estação de meteorológica, atualmente desativada.



Terreno presente na área, apresentando cobertura total por neve.

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 05	C1	6,20	5,49	-0,71	13,50	18,00	28,80	0,00	0,04	0,00	0,80
	C2	5,77	5,20	-0,57	44,40	30,00	48,70	0,00	0,03	0,00	1,00
	C3	6,04	5,30	-0,74	29,80	25,00	32,80	0,00	0,02	0,00	1,00

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
CTX 05	C1	0,22	0,22	1,02	21,60	0,00	56,92	0,66	56,50	1,31	158,40	5,40	3,54
	C2	0,32	0,32	1,32	24,20	0,00	66,17	0,40	59,00	1,29	80,70	2,80	3,12
	C3	0,22	0,22	1,22	18,00	0,00	64,82	0,13	57,70	1,39	105,30	4,00	3,02

Perfil	Horizonte	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)			dag/kg (XXX)					
CTX 5	C1	0-17	59	28	12	1	-	-	-	-	Média
	C2	17-40	48	27	23	2	-	-	-	-	Média-pômica
	C3	40-62+	52	22	18	8	-	-	-	-	Média-esquelética

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
 CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente

Perfil: CTX - 06

Data: 19/12/2010

Classificação (FAO - WRB): Hyperskeletal LEPTOSOL (Tephric, Dystric).

Classificação (USDA - Soil Taxonomy): Aquandic Cryaquent

Coordenadas (UTM): E 785088/ N 9928197 **Zona:** 17M **Altitude (m):** 4429

Relevo (local e regional) e Paisagem (face/ declividade/ feição): Relevo local forte ondulado, regional montanhoso, declive de 20%, terço médio de encosta região dissecada com colina regulares, vertente norte do vulcão Cotopaxi.

Material de Origem: Rochas andesíticas e riolíticas, pumice e cinzas vulcânicas, proveniente de deposições de atividades vulcânicas diversas.

Descrição de Patterground/ Crioturbação: Ausente

Regime Climático: Páramo Húmido (periglacial), temperatura média entre temperatura 1,5-3°C e precipitações entre 1000-2000mm.ano⁻¹

Vegetação/ Organismo: Tundra pluvial Alpina (TpA), espécies rasteiras e adaptadas a cobertura periódica de neve.

Permafrost (profundidade): Ausente.

Erosão: Laminar ligeira.

Descrito por: Alexandre Muselli Barbosa (alexandre.muselli@gmail.com) e Márcio Rocha Francelino (márcio.francelino@gmail.com).

Horizontes (profundidade, temperatura, cor, textura, estrutura, consistência porcentagem de fragmentos de rochas, pedregosidade, matéria orgânica, umidade, transição):

C1	0-10cm 4,6°C	Cinzeno (10YR 5/1, seca) e cinzeno-muito-escuro (10YR 3/1, úmida); areia; Granular/fíbrico, friável; sem fragmentos, ligeiramente pedregoso; presente; moderada; transição plana e abrupta.
C2	10-25cm 6,0°C	Bruno-acinzentado-muito-escuro (2,5Y 3/2, seco) e cinzeno-escuro (2,5Y 4/1, úmido); areia; grão simples, solto; fragmentos >30%, pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
2C3	25-35cm 5,7°C	Cinzeno-escuro (5YR 4/1, seca) e preto (5YR 2,5/1, úmida); areia; maciça, solta; sem fragmentos; não pedregoso, transição plana e abrupta.
2C4	35-60cm 6,0°C	Cinzeno-escuro (7,5YR 4/1, seca) e cinzeno-muito-escuro (7,5YR 3/1, úmida); areia-franca; fragmentos >90%, extremamente pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
3C5	60-75cm 6,1°C	Cinzeno-claro (5YR 7/1, seca) e cinzeno-escuro (5YR 4/1, úmida); franco-siltosa; blocos angulares médios a grandes, fraca, friável; fragmentos <15%, ligeiramente pedregoso; ausente; ligeira; transição plana e abrupta.
3C6	75-85+cm 6,0°C	Cinzeno (5YR 5/1, seca) e cinzeno-muito-escuro (5YR 3/1, úmida); areia-franca; granular pequena, fraca; fragmentos <50%, moderadamente pedregoso; ausente; ligeira.

Observações gerais (presença/ ausência de cimento de gelo e sua profundidade):

- Temperatura do Ar = -1,8°C

- Raízes comuns finas em A

- Perfil descrito úmido.



Perfil CTX-06



Aspecto geral da área, região de transição entre a área coberta de gelo e a área de Tundra alpina (TpA).



Chuquiraga jussieu



Lupinus revolutus

Perfil	Horizonte	pH		Δ pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	KCl								
CTX 06	C1	5,59	4,75	-0,84	35,90	31,00	29,80	0,13	0,08	0,10	1,80
	C2	6,23	5,83	-0,40	50,00	13,00	21,80	0,00	0,02	0,00	0,80
	2C3	5,91	5,54	-0,37	65,40	19,00	50,70	0,00	0,02	0,00	1,00
	2C4	6,27	5,75	-0,52	14,10	29,00	37,80	0,05	0,05	0,00	0,50
	3C5	-	-	-	44,80	68,00	68,70	0,14	0,07	0,00	1,30
	3C6	6,27	5,77	-0,50	33,50	33,00	34,80	0,25	0,12	0,00	0,50

Perfil	Horizonte	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
CTX 06	C1	0,42	0,52	2,22	18,90	19,20	24,92	1,65	52,30	0,75	121,10	4,90	0,97
	C2	0,14	0,14	0,94	14,90	0,00	67,70	0,53	57,50	10,85	130,80	2,80	1,38
	2C3	0,29	0,29	1,29	22,50	0,00	76,01	0,66	55,80	0,65	259,80	6,20	2,44
	2C4	0,33	0,33	0,83	39,80	0,00	49,80	0,66	54,40	4,09	300,00	9,30	3,64
	3C5	0,68	0,68	1,98	34,30	0,00	43,93	0,26	52,60	6,77	200,90	5,60	4,76
	3C6	0,66	0,66	1,10	54,50	0,00	25,22	0,66	45,70	3,48	138,70	9,00	7,33

Perfil	Horizonte	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural (Soil Taxonomy)
			dag/Kg (NaOH)				dag/kg (XXX)				
CTX 6	C1	0-10	44	42	13	1	52	29	7	12	Cinza-esquelética
	C2	10-25	81	6	12	1	78	19	0	3	Média
	2C3	25-35	54	33	12	1	58	30	3	9	Cinza
	2C4	35-60	53	28	18	1	60	28	0	12	Pômico
	3C5	60-75	21	25	53	1	-	-	-	-	Média-pômica
	3C6	75-85+	43	36	20	1	-	-	-	-	Média-esquelética

Legenda: pH em H₂O e KCl – Relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich1; Ca, Mg, Al – Extrator: KCl – 1mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L – pH 7,0; Cd, Cr, Pb e Ni – Extrator de Mehlich-1; S – Extrator – Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis
 CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNA – Índice de Saturação de Sódio; Mat. Org. (MO) = C. Org x 1,724 – Walkley – Black; P-rem = Fósforo Remanescente