

ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA EVOLUÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS CONSTRUÍDOS EM ÁREAS DE PASSIVO AMBIENTAL DA MINERAÇÃO DE CARVÃO, LAURO MULLER – SC

Daniel Pazini PEZENTE¹; William de Oliveira SANT ANA².

¹Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina – SATC; daniel.pezente@satc.edu.br; ²Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina – SATC; william.santana@satc.edu.br

RESUMO

No interior do município de Lauro Müller, Distrito de Guatá, durante mais de 50 anos operou a Companhia Nacional de Mineração de Carvão do Barro Branco, que minerou pelo método de lavra a céu aberto, remanesecendo pequenas áreas esparsas espacialmente, e impactadas ambientalmente. Num contexto recente, a Carbonífera Catarinense Ltda. efetuou a recuperação ambiental através da conformação topográfica, construção de solo e drenagens e estabelecimento de vegetação nestas áreas. Desde então as mesmas passaram a ser monitoradas ambientalmente, com vistas ao acompanhamento da evolução de seus indicadores, por parte do Núcleo de Meio Ambiente do Centro Tecnológico da Associação da Indústria Carbonífera de Santa Catarina. Deste trabalho de monitoramento, selecionou-se 8 campanhas amostrais de 12 parâmetros físico-químicos do solo de 6 distintas áreas (4, 5, 13, Juliana, 16 e 20), cujos resultados objetivam analisar a evolução da fertilidade e capacidade de suporte deste substrato ao longo das campanhas, bem como comparar a velocidade de recuperação entre as áreas. As áreas foram percorridas em toda a sua extensão, realizando coletas avulsas de solos, a fim de gerar uma malha amostral homogênea e representativa. As amostras de cada área foram reunidas em uma amostra composta, homogeneizadas e quarteadas. Para se atingir os objetivos propostos, como materiais e métodos, os 12 parâmetros definidos foram de: Percentual de argila, SMP, pH em água, Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica, Cálcio, Magnésio, Saturação por bases, Capacidade de troca de cátions, e Saturação por alumínio. A hipótese inicial é de que áreas geograficamente próximas, submetidas ao mesmo clima, de relevo similar e técnicas de recuperação idênticas, apresentem ritmos sincronizados na evolução da qualidade do substrato. Como tratamento estatístico, para que o correto relacionamento entre variáveis e destas com os casos, seja devidamente interpretado, se faz necessário normalizar os resultados analíticos, padronizá-los, para a aplicação da estatística multivariada. A técnica estatística adotada, a Análise de Componentes Principais (ACP), objetivou sintetizar as informações dos conjuntos das variáveis, ordenando os casos em relação aos parâmetros descritores, utilizando-se do software estatístico *Multi-Variate Statistical Package*®, na qual foi elaborado gráfico euclidiano bidimensional. Os resultados preliminares indicam que todas as áreas apresentam progressão positiva da qualidade do substrato e tendência a estabilização, ou seja, este solo construído já apresenta evolução na capacidade de ciclagem de nutrientes e sustentabilidade., mesmo não sendo submetido à reintervenções. Exceção é feita a área 13, que não demonstrou capacidade de evoluir para uma condição eutrófica. Neste caso, recomenda-se estudos complementares para tomada de decisão acerca desta área em específico.

Palavras-chave: Recuperação Ambiental; Solos; Estatística Multivariada; Mineração; Passivos Ambientais.

ABSTRACT

Within the city of Lauro Müller, Guatá district, for more than 50 years the “Companhia Nacional de Mineração de Carvão do Barro Branco” operated, which was mined by the method of opencast, and on small sparse areas spatially, and environmentally impacted. At a recent context, a “Carbonífera Catarinense Ltda” effected an environmental recovery through the topographical conformation, soil building and drainage construction and establishment of vegetation in these areas. From this step, they have been monitored environmentally, with views to the monitoring of the evolution of the “Indicators of Núcleo de Meio Ambiente do Centro Tecnológico da Associação da Indústria Carbonífera de Santa Catarina”. After this monitoring work, were selected 8 of 12 sampling campaigns physico-chemical parameters of the soil of 6 different areas (4, 5, 13, Juliana, 16 and 20), whose results aim to analyze the evolution of fertility and supportability of this substrate along the campaigns, as well as compare the speed of recovery between the areas. The areas were covered throughout their extension, conducting individual soil collections, in order to generate a homogeneous and representative sampling mesh. Samples of each area were collected in a composite sample, homogenized and subdivide in four. In order to achieve the proposed objectives, such as materials and methods, the 12 parameters defined as percentage of clay, SMP, pH in water, phosphorus, potassium, organic matter, calcium, magnesium, saturation, cation exchange capacity, and aluminum saturation. The initial hypothesis is that geographically nearby areas, subject to the same climate, similar relief and recovery

techniques identical synchronized rhythms, in the evolution of the quality of the substrate. As statistical treatment, so that the correct relationship between variables and of these with the cases is properly interpreted, it is necessary to normalize the analytical results, default them, for the application of multivariate statistics. The statistical technique adopted, principal component analysis (ACP), aimed to synthesize information from sets of variables, ordering the cases in parameters, descriptors using the statistical software Multi-Variate ® Statistical Package, in which two-dimensional Euclidean graph was prepared. The preliminary results indicate that all areas present positive progression of substrate quality and tendency to stabilization, this ground built presents developments in nutrient cycling capacity and sustainability, without being subjected to the re-operation. Exception is made to 13 area, which showed no ability to evolve into an eutrophic condition. In this case, we recommend further studies to decision making about this specific area.

Key-Words: Environmental Recovery; Soil; Multivariate Statistics; Mining; Environmental Liabilities.

1 INTRODUÇÃO

O carvão é parte fundamental da história do sul catarinense, sendo que para alguns municípios constitui-se na essência da sua própria história (BELLOLI *et al.*, 2002). A nível mundial, este também representa os recursos energéticos não renováveis mais importantes a longo prazo, sendo que ocupa a primeira posição em abundância e perspectiva de vida útil (AGUIAR; BALESTIERI, 2007).

Apesar da sua importância econômica, se não usado com responsabilidade e critério, o carvão causa sérios problemas socioambientais durante o seu processamento, seja na mineração, beneficiamento ou combustão. Em todas as fases de exploração ocorre a liberação de poluentes, impactando na paisagem, nas comunidades faunísticas e florísticas, bem como na contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos (TORREZANI; OLIVEIRA, 2013).

A principal fonte de degradação ambiental gerada por esta atividade está relacionada a formação de rejeitos do carvão, ricos em dissulfeto de ferro (FeS_2), conhecido como pirita. Este mineral entra em processo de oxidação quando em contato com o ar e a água, bem como através da atividade de algumas bactérias, tais como *Thiobacillus ferrooxidans*, gerando a Drenagem Ácida de Mina (DAM), comumente associado à dissolução de metais em minas abandonadas (FUNGARO; IZODORO 2006). Segundo Preve (2013), o carvão mineral produzido no sul de Santa Catarina gera uma grande quantidade de rejeito após seu beneficiamento, causando sérios impactos ambientais.

No Estado de Santa Catarina a mineração de carvão acontece em minas subterrâneas e a céu aberto, sendo que, no processo de mineração à céu aberto a remoção das camadas superiores foi executada em décadas passadas de forma desordenada, provocando a inversão do solo, gerando pilhas de materiais geológicos que têm na

sua base a camada fértil do solo, causando a perda de solo e a sua degradação (ARAÚJO *et. al.*, 2005). A extração de carvão nestas áreas foi realizada a céu aberto, com remoção de grandes volumes de solo e de rocha, resultando em alterações paisagísticas, mesmo após a reconformação topográfica.

De acordo com a resolução 001/86 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), que institui a obrigatoriedade da apresentação de EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental) para licenciamento de empreendimentos de mineração, o plano de lavra e o de reabilitação da área a ser minerada devem constar no projeto de mineração. A obrigatoriedade de reabilitar as áreas degradadas encontra-se regulamentada pelo decreto número 97.632, de 10 abril de 1989.

Dentre as estratégias de recuperação de áreas impactadas pela mineração na bacia carbonífera catarinense, implementam-se solos construídos, que devem proporcionar condições para o desenvolvimento da vegetação (PINTO, 1997), permitindo a fixação do solo, evitando a atuação de processos erosivos que podem expor os rejeitos e/ou estéril de cobertura e que favoreçam a geração de drenagem ácida (FANNING; FANNING, 1989).

O uso de cobertura vegetal como medida mitigadora dos impactos ambientais é uma opção prática e econômica, embora apresente dificuldades de adaptação à composição física e química do solo degradado. Sendo assim, deve-se escolher espécies com capacidade de crescimento rápido para, desta forma, proteger o solo, abrigar e alimentar a fauna, recompor a paisagem e reestabelecer o regime hídrico, criando condições para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (PAULETTO, *et. al.*, 2007).

A evolução das condicionantes químicas de um solo construído, em áreas de passivo ambiental, é de grande importância, pois permite realizar uma

avaliação da metodologia de recuperação utilizada, servindo de base para a evolução da qualidade dos processos de recuperação ambiental.

Considerando a importância da fertilidade do solo para a manutenção, distribuição e abundância de espécies vegetais (RODRIGUES et al., 2007), bem como a capacidade de ciclagem de nutrientes e auto sustentabilidade, associado ao baixo número de estudos relacionados à solos construídos sobre áreas de mineração de carvão, o objetivo deste estudo foi analisar a evolução das condicionantes edáficas químicas de solos construídos em áreas mineradas à céu aberto, em áreas de passivo ambiental da mineração de carvão, utilizando-se de ferramentas de estatística multivariada, a exemplo de matriz de similaridade e gráfico euclidiano bidimensional.

2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no município de Lauro Muller/SC onde se localizam diversas áreas que já comportaram no passado exploração de carvão mineral à céu aberto, cuja responsabilidade de recuperação foi atribuída à Carbonífera Catarinense S.A., sendo que muitas já tiveram suas obras de recuperação ambiental realizadas. Considerando as condições de relevo, características geológicas e processos de recuperação similares, foram escolhidas as áreas 04, 05, 13, Juliana, 16 e 20.

De acordo com o sistema de classificação global dos tipos climáticos, proposto por Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MC MAHON, 2007), a conjunção da atuação sazonal das diferentes massas de ar, acrescida de fatores, como latitude, altitude e continentalidade caracteriza a área de estudo como de clima temperado chuvoso, úmido em todas as estações, com verão quente, ou seja, do tipo Cfa, com temperaturas variando entre 17° e 19,3°C, precipitação pluviométrica média de 1.655 mm por ano (CIRAM, 2017) e com floresta original representada pela Floresta Ombrófila Densa (LEITE e KLEIN, 1990).

A geologia local é constituída por rochas sedimentares das formações gonduânicas da bacia do Paraná, representadas localmente pelas formações Palermo e Rio Bonito, Grupo Guatá, especificamente a camada minerada Barro Branco (Brasil, 1987). Campos et al. (2003) analisaram um

solo próximo à área minerada e classificaram-no como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006).

Os trabalhos de mineração aconteceram de forma semelhante em todas as áreas, ou seja, segundo os mesmos critérios, seguindo o procedimento de conformação topográfica do terreno, recobrimento dos estéreis e rejeitos com uma camada de 50 centímetros de argila compactada e 30 centímetros de argila não compactada associada à corretivos e adubação para a formação do *top soil*. Após este procedimento foi inserido a vegetação, sendo usado a espécie herbácea *Brachiaria sp.*, visto que esta tem características de crescimento rápido, podendo ser usada como forrageira e com boa adaptação às áreas de solo construído.

3 METODOLOGIA

Nas áreas de passivo ambiental recuperada, foram percorridas todas as extensões de cada, sendo realizadas coletas de subamostras de solo, no intuito de formar uma malha amostral homogênea e representativa, gerando uma amostra composta por área, seguindo a metodologia de amostragem de solo da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016).

Estas sub amostras foram levadas até o laboratório de Geotecnia da Satc (LABGEO/SATC) onde foram homogeneizadas e quarteadas para a obtenção de uma amostra composta que representasse as reais condições da área amostrada.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo da EPAGRI, na Estação Experimental de Ituporanga. Os parâmetros físicos e químicos analisados compõem a análise básica, ou seja: teor de argila, pH, acidez potencial, índice SMP, fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (M.O.), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio trocável (Al^{+3}), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por Al (m%) e saturação das bases (V), de acordo com Oleynik et. al. (1995).

Os resultados foram analisados por meio da técnica estatística multivariada da Análise de Componentes Principais (ACP), conforme Landim; Lourenço (2004). Esta é uma técnica que transforma um conjunto de variáveis originais em um conjunto reclassificado, de mesma dimensão, denominado de componentes principais. De acordo com Varella (2008), cada componente formado é uma combinação linear da soma de variáveis originais,

interdependentes entre si, com o propósito de reter o máximo de informação, em termos de variação total contida nos dados. No *software MVSP®* foi possível aplicar a técnica de ACP e verificou-se qualidade de representação através de gráfico euclidiano bidimensional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Landim; Lourenço (2004), a análise estatística multivariada deve ser precedida da

montagem de uma matriz de dados, com a padronização e a normalização dos dados brutos (Tabela 1). Dessa forma, houve a necessidade do pré-processamento dos dados analíticos, tornando-os aptos para a análise estatística. A etapa de tratamento foi subdividida na averiguação da normalidade da série de dados de cada variável, e na padronização dos mesmos.

Tabela 1: Condições edáficas de áreas de passivo ambiental ao longo de 8 campanhas de monitoramento.

ÁREA	CAMP.	ARGILA (%)	Ph (em água)	SMP	P (mg/dm³)	K (mg/dm³)	MO (%)	SB	CTC (cmolc/dm³)	V (%)	m (%)
4	5	58,00	4,80	4,50	5,00	62,00	1,60	3,53	27,94	12,63	52,49
	6	51,00	5,00	5,50	7,00	64,00	1,90	4,65	12,39	37,53	36,74
	7	58,00	4,90	5,00	8,50	55,00	0,90	7,82	19,19	28,35	24,22
	8	60,00	4,80	4,80	3,70	71,00	1,00	2,91	20,21	14,40	57,27
	9	30,00	7,10	7,00	14,00	75,00	2,40	17,04	18,44	92,42	0,00
	10	23,00	6,00	6,50	4,70	81,00	1,20	11,70	13,91	84,16	0,00
	12	57,00	4,70	5,30	14,30	50,00	1,90	6,70	15,96	42,36	13,99
	14	54,00	4,90	5,50	7,60	76,00	2,60	7,80	15,30	50,98	31,95
5	5	33,00	3,70	4,30	3,80	40,00	1,50	2,84	33,56	8,46	64,68
	6	35,00	4,60	4,80	10,70	55,00	1,80	5,12	22,42	22,84	30,05
	7	44,00	4,60	4,70	4,80	39,00	1,20	5,20	24,60	21,14	37,35
	8	61,00	4,90	4,90	3,60	41,00	1,30	2,23	17,63	12,63	65,85
	9	50,00	5,00	5,30	20,80	42,00	2,10	8,83	18,53	47,64	4,00
	10	30,00	5,60	6,30	4,30	73,00	1,70	10,67	13,48	77,46	20,85
	12	36,00	6,80	7,00	4,50	52,00	1,20	8,43	9,83	85,75	0,00
	14	31,00	4,90	6,20	15,00	88,00	1,90	5,70	9,00	63,29	36,18
13	5	16,00	4,90	4,40	15,30	92,00	0,80	4,00	31,38	12,75	55,50
	6	25,00	4,70	4,80	50,00	84,00	2,20	6,36	23,66	26,88	32,05
	7	24,00	4,90	4,40	19,70	94,00	0,70	6,04	33,42	18,07	44,79
	8	27,00	4,80	4,60	4,00	83,00	1,00	2,63	24,39	10,78	71,19
	9	33,00	4,20	4,30	1,90	81,00	1,40	3,61	34,31	10,51	58,65
	10	35,00	5,00	4,80	2,90	81,00	1,50	8,29	25,59	32,38	49,11
	12	40,00	4,20	4,00	2,40	58,00	1,20	3,66	47,46	7,72	58,67
	14	32,00	4,20	4,20	4,60	86,00	2,70	2,11	35,81	5,88	81,51
JULIANA (15)	5	41,00	5,10	5,70	50,00	91,00	4,90	8,12	14,27	56,90	36,08
	6	41,00	5,30	6,20	14,50	43,00	3,00	7,97	11,44	69,67	4,78
	7	53,00	4,70	5,20	7,50	43,00	1,40	6,81	17,74	38,39	20,90
	8	58,00	4,80	5,20	5,30	40,00	1,00	2,52	13,45	18,74	56,70
	9	39,00	4,90	5,30	3,00	33,00	1,90	4,81	14,51	33,18	20,23
	10	24,00	5,60	6,40	2,30	42,00	2,20	9,54	12,34	77,29	12,24
	12	36,00	5,00	6,10	42,80	60,00	1,90	8,75	12,55	69,75	0,00
	14	48,00	5,70	6,10	4,60	44,00	3,10	6,00	9,80	61,18	0,00
16	5	20,00	4,60	4,70	14,40	81,00	2,20	6,07	25,47	23,83	36,57
	6	22,00	4,80	4,70	10,70	63,00	1,70	7,65	27,05	28,28	33,19
	7	21,00	4,50	4,30	19,30	102,00	1,60	8,66	39,38	21,99	37,06
	8	33,00	4,60	4,50	6,60	203,00	2,10	4,76	29,17	16,32	56,17
	9	29,00	4,20	4,60	15,10	55,00	1,90	7,46	12,80	25,50	41,73
	10	34,00	4,70	5,60	3,40	72,00	2,10	10,18	17,08	59,63	39,32
	12	33,00	4,50	4,80	20,00	106,00	2,40	13,57	29,87	45,43	18,60
	14	23,00	4,80	5,30	40,20	80,00	2,60	10,32	20,52	50,29	28,51
20	5	26,00	4,80	4,80	7,10	47,00	1,50	4,17	21,47	19,42	31,31
	6	31,00	5,00	5,60	3,20	36,00	3,00	7,25	14,15	51,24	15,20
	7	34,00	4,60	5,00	16,60	48,00	1,30	5,12	18,87	27,13	30,05
	8	52,00	4,70	4,70	2,40	28,00	1,00	2,52	13,45	6,73	78,79
	9	35,00	5,00	5,40	16,00	32,00	2,00	7,13	7,87	45,05	9,40
	10	29,00	5,60	6,10	3,20	38,00	1,50	8,84	12,00	69,37	26,33
	12	50,00	4,90	5,10	2,00	34,00	1,20	3,98	16,28	24,45	33,44
	14	44,00	4,90	5,50	4,90	36,00	2,20	3,97	12,17	32,58	34,29

P – Fósforo; K – Potássio; MO – Matéria Orgânica; SB – Soma de Bases; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; V – Saturação por Bases; m – Saturação por Alumínio.

Após a padronização e normalização, os dados foram importados para o *software MVSP®*. Neste programa efetuou-se uma Análise de

Componentes Principais (ACP) obtendo-se uma matriz de similaridade, os eixos dos componentes principais e a possibilidade de se averiguar os pesos das variáveis conforme distintos eixos (Tabela 2). Ressalta-se que estes dados foram inicialmente

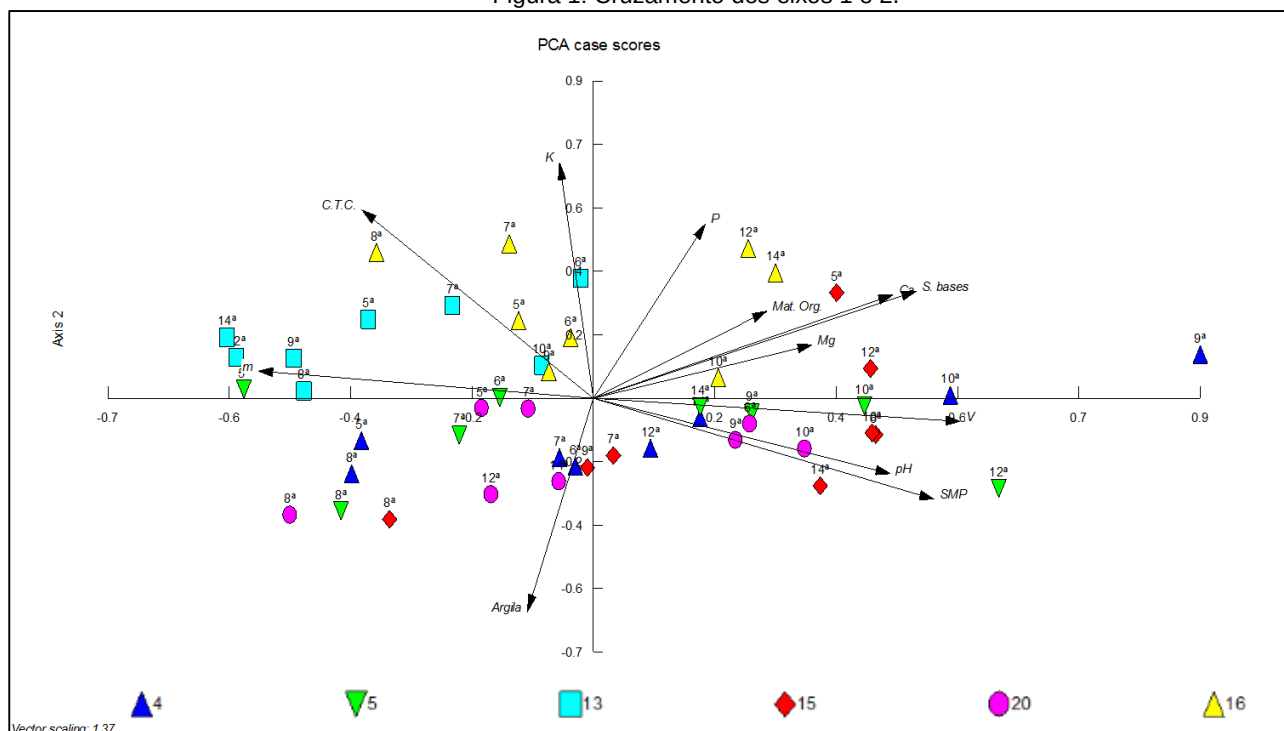
tratados, com todas as variáveis e casos dispostos na Tabela 1 e com esta técnica foi possível gerar gráfico euclidiano bidimensional (Figura 1) que cruza os

eixos 1 e 2. Desta forma as possíveis relações entre variáveis e casos puderam ser percebidas.

Tabela 2: Matriz de similaridade e dentre os parâmetros da pesquisa. Os destaques refletem as maiores correlações entre os parâmetros.

	Argila	pH	SMP	P	K	Mat. Org.	Ca	Mg	S. bases	C.T.C.	V	m
Argila	1											
pH	-0,06	1										
SMP	0,001	0,85	1									
P	-0,248	-0,033	0,058	1								
K	-0,366	-0,093	-0,219	0,241	1							
Mat. Org.	-0,068	0,115	0,32	0,452	0,126	1						
Ca	-0,373	0,583	0,591	0,213	0,172	0,279	1					
Mg	-0,058	0,227	0,339	0,435	-0,068	0,408	0,253	1				
S. bases	-0,329	0,581	0,607	0,308	0,151	0,334	0,961	0,483	1			
C.T.C.	-0,278	-0,523	-0,764	-0,028	0,436	-0,25	-0,199	-0,22	-0,231	1		
V	-0,162	0,788	0,947	0,172	-0,088	0,4	0,758	0,472	0,791	-0,622	1	
m	0,088	-0,627	-0,747	-0,249	0,227	-0,317	-0,603	-0,674	-0,708	0,539	-0,815	1

Figura 1: Cruzamento dos eixos 1 e 2.



A relação entre os casos (áreas de estudo por campanhas amostrais) e os vetores (parâmetros do estudo) denotam que quando posicionadas nos quadrantes a direita do gráfico, influenciado, principalmente, por vetores de soma de bases, pH e SMP, constituem ambientes mais favoráveis ao desenvolvimento de vegetação. Por outro lado, os casos dispostos à esquerda, sob influência principal da saturação por Alumínio (m%), indicam um solo distrófico, com baixas condições edáficas. Desta

forma, esta espacialização das campanhas, influenciados pelos parâmetros físico/químicos, contribui para o acompanhamento da evolução do estágio de recuperação dos locais analisados.

Com a análise da Figura 1, evidencia-se que as áreas apresentam uma evolução positiva ao longo do tempo, com exceção da área 13, que se apresenta estagnada ao longo do tempo, não apresentando evolução, indicando que não adquiriu condições de auto sustentabilidade.

É possível, também, identificar que a Saturação por Alumínio (m%) influencia fortemente nas condições do solo, sendo que quando seu valor é alto, o mesmo inibe a disponibilidade de bases, bem como está associado a um pH muito baixo e limitante ao desenvolvimento vegetal. Os altos teores de argila também são sinônimos de baixa qualidade edáfica, visto que, a concentração excessiva desta pode determinar condições físicas de alta compactação, impossibilitando o desenvolvimento de raízes, bem como a sustentabilidade deste solo.

4.1 RESULTADOS ESPECÍFICOS PARA CADA ÁREA

Os valores dos parâmetros analisados na área 4 mostram um solo com evolução edáfica positiva ao longo das campanhas, apresentando um pH estabilizado, com índice próximo à 5 sendo considerado ideal quando em comparação com a mata nativa da região. Os macronutrientes se encontram em condições satisfatórias e a matéria orgânica, apesar de baixa, apresenta tendência ao aumento de sua concentração. A relação entre os valores de saturação por alumínio e saturação por bases vem evoluindo ao longo das campanhas, mostrando uma evolução sustentável deste solo.

A área 5, nas últimas campanhas amostrais, tem um comportamento muito semelhante à anterior, onde os valores de pH se mostram estáveis, com baixos níveis de matéria orgânica e com uma saturação por bases alta, indicando boas condições para o desenvolvimento da vegetação na área.

Os resultados da área 13 mostram uma área com um pH e o índice SMP muito baixo, apesar de estabilizados, e como consequência uma baixa disponibilidade de Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). A área apresenta também baixa quantidade de matéria orgânica e elevado índice de saturação por alumínio, fato que pode estar gerando contaminação à vegetação desta área, alcançando um alto nível na última campanha, acima de 80%. Esta variável se mostra instável ao longo das campanhas nesta área, evidenciando um solo sem capacidade autossustentável.

A área Juliana, representada como área 15 no gráfico, mostra uma boa evolução ao longo dos anos, com excelente melhoramento das condições edáficas iniciais, citando o elevado pH, boas condições nutricionais e altos índices de saturação por bases. Apenas a matéria orgânica apresentou

baixa concentração, fato este que merece atenção pois se não evoluir, esta determinante pode gerar problemas físicos de compactação, visto que a área apresenta elevados teores de argila na última campanha (48%).

O mesmo tem ocorrido na área 16, em que é notável as boas condições edáficas desta, com pH ideal, bons níveis nutricionais e alta saturação por bases, tendo como único entrave a matéria orgânica em baixos níveis, porém esta deve ser suprida no decorrer do tempo conforme a vegetação se desenvolva, já que os valores de argila não ultrapassaram os 34% ao longo do tempo.

Na área 20 foram encontrados índices adequados de pH, e SMP, porém baixas concentração de nutrientes disponíveis (P, K, Ca, Mg) no decorrer das campanhas, bem como a concentração de matéria orgânica também é considerada baixa.

5 CONCLUSÕES

Na avaliação temporal das áreas monitoradas, evidenciou uma evolução positiva ao longo das 8 campanhas de monitoramento em 5 das 6 áreas analisadas, à exceção da área 13, que apresentou baixos valores de soma de bases, de pH, de saturação por bases e fósforo, revelando que a maior parte do complexo de troca do solo está ocupada por cátions tóxicos de hidrogênio (H) e Alumínio (Al), refletindo baixa fertilidade do solo.

Em condições de campo, é possível observar, em todas as áreas estudadas, a influência que a saturação por alumínio (m%) exerce sobre diversas variáveis importantes na qualidade nutricional do solo, evidenciando que quanto maior a saturação por alumínio (%), menores são os valores de pH, do índice SMP, de Magnésio e de Saturação por Bases do solo, caracterizando-o, sob estas condições, como de baixa fertilidade.

A concentração de argila, bem como a concentração de matéria orgânica no solo também influenciam diretamente sobre o desenvolvimento da vegetação, visto que, em um solo com excesso de argila associado a baixas concentrações de matéria orgânica pode gerar condições de compactação e perda de solo por erosão, gerando limitações ao desenvolvimento vegetal na área.

Diante do exposto, salienta-se que os índices de concentração dos atributos do solo aqui utilizados para análise da fertilidade são baseados em critérios agrônômicos padronizados para solos agrícolas e não para áreas influenciadas pela mineração de carvão, devendo ser seguido com cautela quando da análise de solos construídos. Deve-se considerar, ainda, que a disponibilidade de nutrientes e a velocidade de decomposição da matéria orgânica são influenciadas tanto pela amplitude térmica, quanto pela evapotranspiração do solo, umidade relativa e intensidade luminosa, as quais variam sazonalmente na latitude em que foi realizado este estudo.

Apesar do exposto, Silva et al. (2004) assinalam que, em virtude da carência de parâmetros específicos, os resultados de trabalhos que levem em consideração parâmetros físicos e a fertilidade de solos influenciados pela mineração são de extrema importância. Deve-se ressaltar ainda que, para que um solo seja considerado fértil, além de conter quantidades suficientes de nutrientes essenciais às plantas, tem que estar livre de substâncias tóxicas e apresentar propriedades físicas satisfatórias.

6 REFERENCIAS

- AGUIAR, C.D.; BALESTIERE, P.A.J. **Carvão Mineral: um estudo sobre o consumo nacional e respectivas emissões de CO₂**. P. 2-10. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade. Paraná, Brasil. 2007.
- ARAÚJO, F. S. et al. **Florística da vegetação arbustivo-arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, em Brás Pires, MG. Revista Árvore**, v.29, n.6, p.983-992, 2005.
- BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A.; **História do Carvão em Santa Catarina**. Criciúma/SC. Imprensa oficial do estado de Santa Catarina. 300p. 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). **Perfil analítico do carvão**. 2.ed. Porto Alegre, 1987. 140p. (Boletim, 6).
- CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A. & SOUZA, L.S. **Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro**
- Müller, Santa Catarina**. R. Bras. Ci. Solo, 27:1123-1137, 2003.
- CIRAM – CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS É DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA/EPAGRI – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E DE EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Estações Meteorológicas do Município de Criciúma: Monitoramento de dados meteorológicos para prevenção de enchentes e deslizamentos**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect/>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2017.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11 ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 376p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Brasília. 2 ed. 306 p. 2006.
- FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil: morphology, genesis and classification**. New York: J. Willey, 1989. 395p.
- FUNGARO, A.D.; IZIDORO, C. de J. **Remediação de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas leves de carvão**. Química Nova, 29: 735-740. 2006.
- LANDIM, P.M.B.; LOURENÇO, R. W. Análise de Regressão Múltipla Espacial. UNESP/campus de Rio Claro - Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Departamento de Geologia Aplicada, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 13, 2004.
- LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação**. In: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Geografia do Brasil, 1990. v.2. p.113-150.
- OLEYNIK, J. et al. **Análises de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados**. Curitiba: EMATER – Paraná, 1995. (Informação Técnica, 31).
- PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S.; FERNANDES, F.F. & CASTILHOS, D.D. **Relatório Técnico de Projeto “Recuperação dos solos regenerados da área de mineração de carvão de Candiota – RS”** (2007).
- PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, **Hydrology and Earth System Sciences**, 11, 1633-1644, doi: 10.5194/hess-11-1633-2007, 2007.

PINTO, L.F.S. Potencial de acidificação e de neutralização das materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão. 1997. 186f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

PREVE, D. R. **LEGISLAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL: INSTRUMENTOS JURIDICOS NA RECUPERAÇÃO DE AREAS DEGRADADAS PELA EXPLORAÇÃO CARBONIFERA EM CRICIÚMA/SC.** (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

SILVA, S. R. et al. Caracterização de rejeito de mineração de ouro para avaliação de solubilização de metais pesados e arsênio e revegetação local. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p.189-196, 2004.

TORREZANI, N.C.; OLIVEIRA, E.F. **PROBLEMAS AMBIENTAIS DECORRENTES DA EXPLORAÇÃO DO CARVÃO MINERAL E A APLICAÇÃO DA ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA COMO FERRAMENTA DE BIOMONITORAMENTO.** Oecologia Australis: 509-521, Dezembro 2013.

VARELLA, C. A. A. **Análise de Componentes Principais.** Seropédica: UFRRJ – Pós Graduação em Agronomia, 2008.