

Viabilidade do uso de remineralizadores do solo para a recuperação de pastagem degradada no Estado do Tocantins

Raquel Batista dos Santos^{1*}; Julio Cesar Raposo de Almeida²; Adriana Mascarete Labinas²; Drauzio Antonio Rezende Junior³; Eduardo Hidenori Enari⁴

¹ Universidade Estadual de Tocantins, Curso de Ciências Contábeis, Augustinópolis (TO), Brasil

² Universidade de Taubaté, Departamento de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Taubaté (SP), Brasil

³ Universidade de Taubaté, Instituto Básico de Humanidades, Taubaté (SP), Brasil

⁴ Universidade de Taubaté, Departamento de Informática, Taubaté (SP), Brasil

*Autor correspondente: e-mail: raquel.batista1@hotmail.com

julio.cralmeida@unitau.br, alabinas@uol.com.br, drauzio.junior@unitau.br, enari@unitau.br

RESUMO

Os remineralizadores são uma opção estratégica para diminuir a dependência do Brasil de fertilizantes importados. Contudo, o custo do transporte entre o local de produção (jazida) e da aplicação, muitas vezes limita a adoção dessa tecnologia. Objetivando comparar os custos financeiros de recuperação de pastagens com o uso de remineralizador (Fonolito) e de Cloreto de Potássio (KCl), bem como estabelecer a distância de máxima viabilidade econômica para o transporte dos remineralizadores, realizou-se um estudo de caso em uma propriedade rural em Sítio Novo do Tocantins (TO). O estudo demonstrou que a utilização do remineralizador possibilitou economia de 3,36% em relação ao uso do KCl e, ao se comparar as despesas com o transporte realizado por dois veículos com capacidade de carga de 14 e 23 toneladas, constatou-se que as distâncias máximas economicamente viáveis para o transporte do produto foram de 3407 e 4959 km, respectivamente. Desse modo, a substituição do KCl pelo Fonolito se torna viável mesmo para regiões distantes da fonte quando a aquisição for realizada em grandes quantidades.

Palavras-chave: Pó de rocha fonolito. Rochagem. Recuperação de pastagem. Transporte. Sustentabilidade.

Feasibility of use of soil remineralizers for the recovery of degraded pasture in the state of Tocantins

ABSTRACT

Soil remineralizers are a strategic option to reduce the dependence of Brazil of imported fertilizers. However, the cost of transport between the mine and the farms limits the use of this technology. This study aimed to compare the economic costs of recovering pastures with remineralizer (Phonolite) and potassium chloride (KCl), as well as to establish the maximum distance for the transport of remineralizers. A study of case was carried out on a farm in Sítio

Novo do Tocantins (Brazil), showed that the use of phonolite rock powder saving 3.36% in relation to the use of KCl and the maximum distances of transport of the product by trucks with load capacity of 14 and 23 tons were 3407 and 4959 km, respectively. Thus, the replacement of KCl by remineralizer became viable even for regions far from the source when the acquisition was made in large quantities.

Keywords: Phonolite rock powder. Stonemeal. Pasture. Transport.

1. INTRODUÇÃO

Na busca por uma agricultura mais sustentável, a rochagem representa uma alternativa ao uso de fertilizantes convencionais (WRITZL et al., 2019) para a recuperação de solos degradados (JORGE; ALVES; SOUZA, 2015) com menor custo (THEODORO e ALMEIDA, 2013). Além disso, o uso dos remineralizadores também possibilita reduzir a dependência de fertilizantes importados (FRANÇA et al., 2019; THEODORO et al., 2021; CASTRO et al., 2020), especialmente de KCl (COSTA et al., 2018; MOTTA, 2020; FERREIRA, 2017) cujas flutuações no preço do adubo e no câmbio monetário impactam sensivelmente o custo de produção e reduzem as margens de lucros no agronegócio (OLIVEIRA et al., 2019) (Figuras 1 e 2)

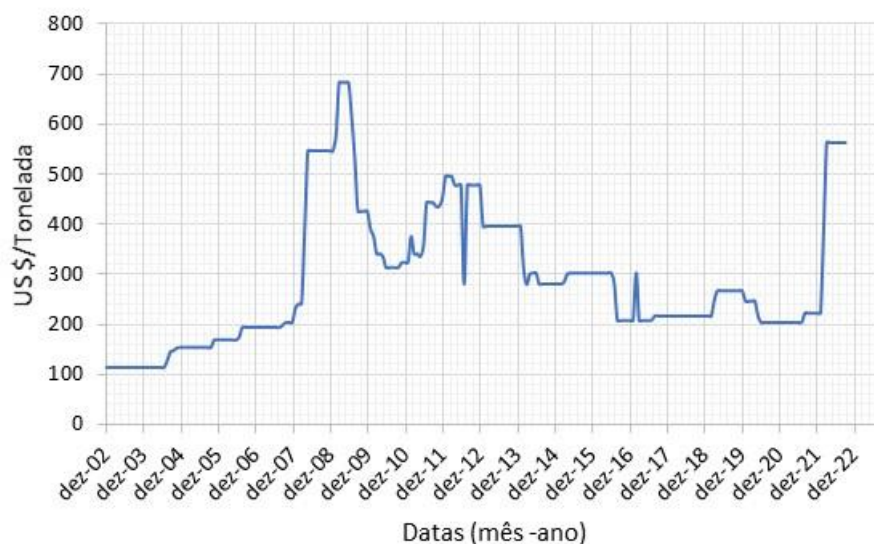


Figura 1. Série histórica do preço internacional do cloreto de potássio (KCl) nos últimos 20 anos (2002 a 2022). (Fonte: adaptado de INDEXMUNDI, 2022)

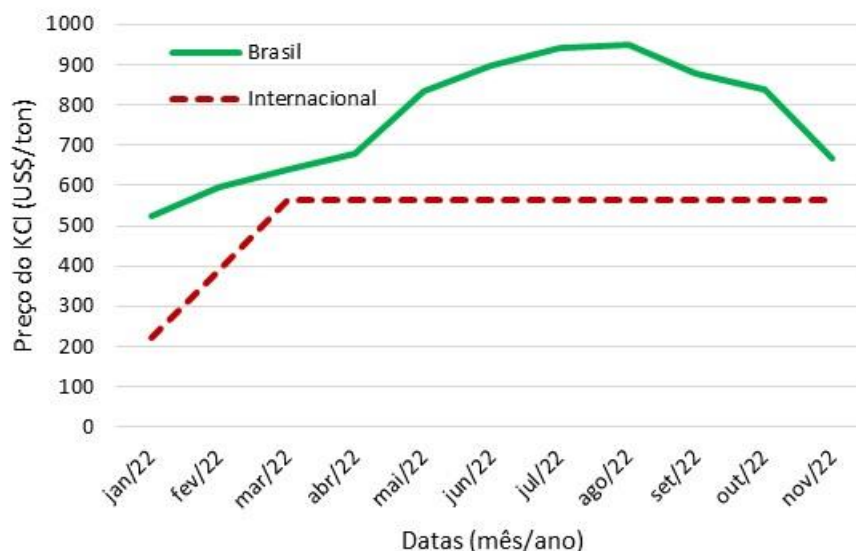


Figura 2. Variação do preço do Cloreto de Potássio (KCl) no mercado internacional e no Brasil em 2022) (Fonte: adaptado de GLOBALFERT, 2022 e INDEXMUNDI, 2022)

Com a promulgação da Lei nº 12.890 de 2013, os remineralizadores foram incluídos na categoria de insumos da agricultura (Lei nº 6.894/80), sendo definidos como o material de origem mineral, reduzido e classificado por processos mecânicos, capaz de adicionar macro e micronutrientes ao solo (BRASIL, 2013). O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, posteriormente, estabeleceu por meio da IN nº 5/2016 os requisitos mínimos para a classificação dos pós de rocha na categoria de remineralizador, bem como, deverão apresentar eficiência agrônômica comprovada (MAPA, 2016).

Os principais remineralizadores utilizados no Brasil são provenientes de rocha de basaltos, xistos, kamafugitos, fonolitos, gnaisses e serpentinitos (THEODORO et al., 2021). Dentre diversos tipos, destaca-se o fonolito, que é uma rocha magmática de origem vulcânica, composta por cerca de 9% de K_2O , que fornece K para as plantas, que vem sendo comercializado com Ekosil®. Além disso, também possui em sua composição o SiO_2 , o CaO , o MgO e outras substâncias que auxiliam no desenvolvimento da planta (ASSIS et al., 2017).

O uso de remineralizadores em cultivos agrícolas tem se demonstrado tecnicamente viável (SILVEIRA et al., 2021; KLEIN, 2020; DETTMER et al., 2020), economicamente rentável (THEODORO e LEONARDOS, 2011), sendo também mais sustentável do ponto de vista ambiental (BRITO et al., 2019), uma vez que a rochagem possibilita a liberação gradual de nutrientes e não requer aplicações repetidas após cada cultivo, como ocorre com os fertilizantes químicos (DETTMER et al., (2019) e reutiliza os subprodutos da mineração (KLEIN, 2020; BRITO et al. (2019)

Estima-se que entre 50 e 80% das áreas ocupadas com pastagem no Brasil estejam degradadas, decorrente especialmente do manejo incorreto do pasto (BARBIERI, 2020). A degradação de pastagens, geralmente associada ao manejo inadequado, falhas na sementeira e deficiência na nutrição, pode provocar impactos no setor produtivo, na economia e no meio ambiente (PEREIRA et al., 2020). Segundo Zimmer et al. (2012) a degradação de pastos pode ser caracterizada pela perda gradual do vigor, da produtividade e da capacidade natural de recuperação da pastagem, a ponto de ser incapaz de sustentar a produtividade dos animais e de combater naturalmente o efeito de pragas e doenças.

Áreas de pastagens degradadas precisam ter sua capacidade reestabelecida para melhorar a sua produtividade. Isso pode ocorrer por meio da recuperação, da renovação ou da

reforma de pastagem. A recuperação do solo de área de pastagem consiste no preparo do solo, controle de erosão, correção, adubação e pastagem, para recomposição e manutenção da fertilidade, com o objetivo de reestabelecer a produtividade da forragem (BARBIERI, 2020). Além da vantagem econômica, a recuperação de pastagens é ecologicamente recomendada, pois contribui para a redução da emissão CO₂ (ZIMMER et al., 2012).

Theodoro e Medeiros (2016) afirmam que o uso do pó de rocha, de forma isolada ou associada com outros tratamentos, como a aplicação de composto orgânico, é capaz de reduzir a toxidez de alumínio, promover o crescimento de nutrientes como K, Ca e Mg, mostrando-se como uma tecnologia capaz de reverter processos de degradação, de forma sustentável.

Jorge et al. (2015) afirmaram que a rochagem é uma técnica adequada para recuperação de pastagens degradadas, pois promove em melhorias sobre os atributos do solo, tais como a redução da acidez e aumento na disponibilização de K.

Zimmer et al. (2012) mencionaram que a viabilidade econômica da recuperação de pastagens degradadas depende do diagnóstico correto, e execução correta da técnica escolhida. O custo de produção é a soma dos custos necessários no processo produtivo de determinado produto, considerando insumos e serviços utilizados, tornando-se o primeiro critério a ser considerado na avaliação econômica de um sistema produtivo. Para indicar a viabilidade de um projeto de cultivo, devem-se considerar três fatores, o custo de produção, a distância máxima de transporte e os ganhos em produtividade (SILVEIRA, 2016).

Estudos apontam que a aquisição de insumo remineralizador é cerca de 70% mais barata do que a aquisição de fertilizantes químicos (THEODORO e LEONARDOS, 2011), o que pode levar à imediata conclusão de que a substituição dos fertilizantes convencionais pelo pó de rocha gera economia, já que a aquisição é mais barata. Entretanto, a utilização do pó de rocha demanda grande quantidade de insumo por área e sua aquisição e transporte para outros locais provoca aumento no custo produtivo (PÁDUA, 2012; SILVEIRA, 2016). Dessa forma, as despesas com o transporte e a distribuição desses insumos da jazida até o campo, pode elevar o custo de produção e eliminar a principal vantagem do uso dos remineralizadores na agricultura.

Partindo do princípio de que para ser considerado uma alternativa viável o uso de remineralizadores na agricultura precisa compatibilizar os custos de aquisição, de transporte e da aplicação do produto no campo, buscou-se nesse trabalho estabelecer a viabilidade logística e econômica do uso dos remineralizadores rocha na recuperação de solos degradados e, nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi comparar os custos financeiros do uso de um remineralizador em relação ao uso do cloreto de potássio (KCl) na recuperação de pastagem degradada e estabelecer a distância máxima de viabilidade econômica para o transporte dos remineralizadores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um estudo de caso foi realizado em Sitio Novo do Tocantins (TO), município que está inserido no bioma de Transição Amazônia-Cerrado, onde predominam os Latossolos, caracterizados pela acidez elevada e baixa fertilidade natural (LIMA et al., 2019).

Para comparar os custos financeiros do uso de pó de rocha em relação aos fertilizantes convencionais na recuperação do solo, foram utilizados dois parâmetros: custos de produção e custos de transporte. O período de coleta das informações e levantamento de preços transcorreu de setembro de 2020 a janeiro de 2022.

Para determinação dos custos de produção, inicialmente identificou-se uma área de pastagem degradada com 100 ha, a qual serviu como modelo para esse trabalho. Para se determinar os níveis de fertilidade do solo e as quantidades de insumos necessárias, foram

coletadas duas (2) amostras de solo da camada superficial (0 a 20 cm de profundidade), cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e física do solo.

		Amostra	
		I	II
Areia	g/kg	690	640
Silte	g/kg	140	130
Argila	g/kg	170	230
pH (CaCl ₂)	Un.	4,4	4,9
P (Mehlich I)	mg/dm ³	3	2
K	cmolc/dm ³	0,097	0,256
Ca	cmolc/dm ³	1,5	2,9
Mg	cmolc/dm ³	0,4	0,9
Al	cmolc/dm ³	0,30	0
H+Al	cmolc/dm ³	3,7	3,4
CTC	cmolc/dm ³	5,7	7,46
Soma de bases	cmolc/dm ³	1,997	4,056
Sat. Base (V%)	%	35	54
Sat. Al (m%)	%	13	0

Em relação aos insumos escolhidos, o estudo adotou o KCl (60% K₂O) como fonte convencional de K e, como fonte alternativa, o remineralizador extraído de jazida de fonolito localizada em Poços de Caldas (MG) e comercializado pelo nome de Ekosil (8% K₂O).

Em seguida, foi realizado o levantamento de custos para aplicação dos dois tratamentos na área de 100 ha, sem considerar os custos de transporte. Os custos de transporte foram auferidos separadamente, conforme a Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas (PNPM-TRC), que determina que o preço mínimo dos fretes é estabelecido conforme o tipo de carga, o tipo de veículo e os coeficientes de custo de descolamento (CCD) e de carga e descarga (CC) (ANTT, 2022) (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes dos pisos mínimos, referentes ao quilômetro rodado na realização do serviço de transporte rodoviário remunerado de cargas, por eixo carregado instituído pela Resolução N° 5.959 de 20 de janeiro de 2022 (ANTT, 2022)

Parâmetro	Valor de referência para 3 eixos	Valor de referência para 4 eixos
Tipo de carga	Granel sólido	Granel sólido
CCD	3,3309 (R\$/Km)	3,7916 (R\$/Km)
CC	283,02 (R\$)	290,16 (R\$)

Ressalta-se que o CCD e o CC são os coeficientes determinados pela PNPM-TRC conforme o tipo de carga e o tipo de veículo, e sofrem atualização sempre que há variação no preço do óleo diesel superior a 10% (ANTT, 2022). Dessa forma, os valores apresentados foram determinados, considerando-se a utilização de dois tipos de veículos: a) caminhão *truck* com três eixos e capacidade para 14.000 kg; b) carreta com quatro eixos e capacidade para 23.000 kg.

De acordo com a Resolução n° 5.867 de 2020 da ANTT o preço mínimo do frete ($P_{\text{mín}}$) pode ser estimado em função da distância (D) (Equação 1). Contudo, metodologia usual em

estudos sobre formação de preços e custos de fretes (SCHNEIDER, 2020; QUINTANA et al., 2012; SANTOS, 2007) aponta que o preço final (P_{final}) do frete inclua o percurso de retorno. Desse modo, o preço do frete para transporte do remineralizador de Poços de Caldas (MG) para Sitio Novo do Tocantins (TO) considerou a distância 4432 km, ou se já o dobro entre as duas cidades (2 x 2.216 km).

$$P_{min} = (D * CCD) + CC \quad \text{Eq. 1}$$

$$P_{final} = 2 * P_{min} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

P_{min} = preço mínimo do frete

D = distância

CCD = coeficientes de curso de descolamento, cujo o valor é definido pela ANTT

CC = coeficiente de carga e descarga, cujo o valor é definido pela ANTT

Para se estimar os custos de recuperação da pastagem, foram consideradas as despesas com preparo do solo, calagem, adubação e sementes para a formação de pastagem da espécie *Urochloa brizantha* cv Marandú.

A diferença de custo (ΔV) entre os dois tratamentos, com uso de KCl e de Fonolito, foi analisada por meio de variação percentual. Segundo Castro (2016), a variação percentual é a razão entre a diferença dos dois valores, conforme a equação:

$$\Delta V = \frac{V_{EKOSIL} - V_{KCl}}{V_{KCl}}$$

Em que:

ΔV = Variação percentual do custo

V_{EKOSIL} = Valor do EKOSIL

V_{KCl} = Valor do KCl

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Custo de transporte do remineralizador

Avaliando-se o impacto do custo do transporte, contatou-se que o uso de remineralizadores na agricultura pode ser afetado pelo alto custo do transporte. Considerando a distância de 2216 km, entre a jazida do remineralizador, em Poços de Caldas (MG) e local de aplicação em Sitio Novo do Tocantins (TO), verificou-se que o transporte realizado com veículo de maior capacidade de carga possibilitou reduzir o custo do transporte em 31%, tendo em vista que o valor do frete por tonelada passou de R\$ 1074,70 com o caminhão *truck* (14 toneladas) para R\$ 743,20 com a Carreta (23 toneladas) (Figura 3).

Empregando este resultado na análise de viabilidade econômica do uso de remineralizadores na agricultura, demonstra que a utilização em grandes áreas viabiliza a sua aquisição, mesmo em locais mais distantes pois, quanto maior a quantidade a ser transportada menor será o custo do frete por tonelada. Por outro lado, a utilização desse produto em áreas pequenas requer a aquisição de produtos regionais para reduzir o custo final do produto, ou ainda, realizar a compra em conjunto, conforme sugeriu Pádua (2012).

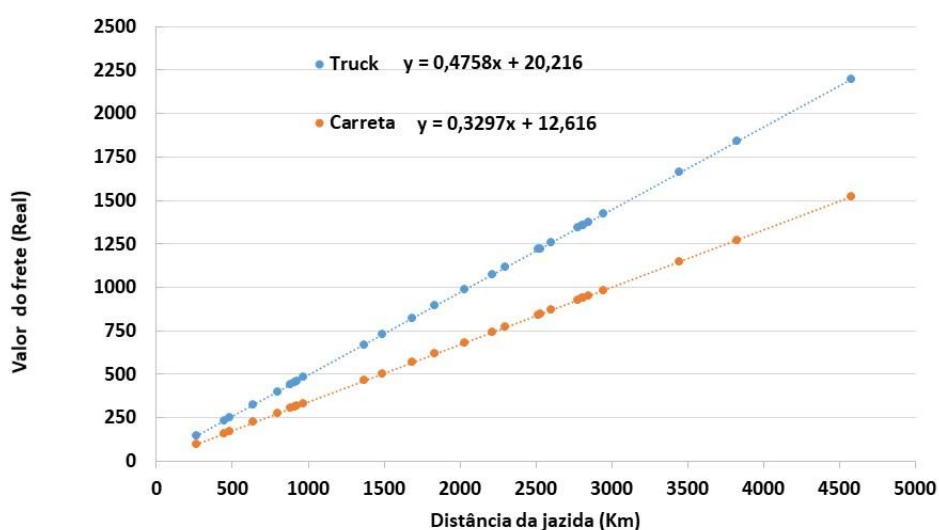


Figura 3. Custo do frete (Real tonelada⁻¹) para caminhão truck (14.000kg) e carreta (23.000kg) em função da distância entre a jazida e o local de aplicação do remineralizador. (Valor final do frete corresponde ao dobro da distância da entre os locais - percurso de ida e volta).

3.2 Custo de recuperação de pastagem degradada

Inicialmente, verificou-se que o custo para recuperação de pastagem com o uso de KCl foi mais alto (R\$ 6.861,00/ha) do que com o uso de remineralizador, independentemente se o transporte foi efetuado com caminhão *truck* (R\$ 6.719,63/ha) ou Carreta (R\$ 6.593,14/ha). Dessa forma, pode-se constatar que a substituição do KCl pelo Ekosil representou redução de economia de 2,06 e 3,48% (Tabela 3). Nesse caso, a despesa com aquisição do remineralizador representou 4,2% do custo de recuperação. Levando-se em conta que o remineralizador necessita ser distribuído e incorporado ao solo, os custos envolvidos representaram 7,8%, evidenciando a possibilidade de substituir um dos insumos que mais afeta os custos de recuperação.

Os custos de com aquisição de corretivo e fertilizantes representaram uma parcela considerável (62,79%) do investimento necessários para a recuperação de pastagens degradadas pelo método convencional. As despesas com a aquisição de superfosfato simples, sulfato de amônio, ureia e KCl, que fornecem os macronutrientes NPK, somaram R\$ 4.308,00, do custo total. A aquisição e a aplicação do KCl, representou 11,37% do custo de recuperação total. Além disso, a aplicação de doses elevadas não é aconselhada ponto de vista técnico e ambiental, pois ser um produto solúvel em água podem ocorrer perdas por lixiviação, levando o nutriente para a camada mais profunda do solo, o que exige sua reaplicação (WRITZL et al., 2019). Por outro lado, verificou-se que o custo de aquisição e aplicação do remineralizador foi menor, representando 10,68% e 8,96% caso o transporte venha a ser realizado, respectivamente com caminhão truck ou carreta.

O custo relativo à calagem merece destaque, tendo em vista vez que a área apresenta saturação por base de $V=35\%$ (Tabela 1) requisitando a aplicação de calcário afim de proporcionar condições adequadas ao bom desenvolvimento da forrageira que possui média exigência em fertilidade (MACEDO et al., 2013) e, nessa condição o investimento para a aquisição de calcário foi de R\$1.184,00, correspondendo a 17,26% da despesa total.

Tabela 3. Custo de recuperação de pastagem degradada de *Urochloa brizantha* cv Marandú no município de Sitio Novo do Tocantins com a utilização do cloreto de potássio (KCl) e remineralizador (Fonolito).

Item	Unidade	Valor	Quantidade	KCl	Fonolito	Fonolito
		Unitário* (R\$)		(R\$)	Caminhão (R\$)	Carreta (R\$)
Limpeza do terreno	HM**	150,00	1	150,00	150,00	150,00
Controle de formigas	HD***	80,00	0,5	40,00	40,00	40,00
Formicida	Kg	20,00	1	20,00	20,00	20,00
Conservação do solo	HM	150,00	0,5	75,00	75,00	75,00
Aração	HM	50,00	1,5	225,00	225,00	225,00
Gradagem	HM	150,00	3	450,00	450,00	450,00
Calcário	Tonelada	592,00	2	1.184,00	1.184,00	1.184,00
Adubação	HD	80,00	0,5	40,00	40,00	40,00
Super fosfato Simples	Tonelada	4.160,00	0,45	1.872,00	1.872,00	1.872,00
Sementes	Kg	15,00	10	150,00	150,00	150,00
Semeadura	HD	80,00	0,5	40,00	40,00	40,00
Sulfato de Amônio	Tonelada	4.860,00	0,2	972,00	972,00	972,00
Sulfato de zinco	Kg	9,90	10	99,00	99,00	99,00
Ureia	Tonelada	7.640,00	0,1	764,00	764,00	764,00
KCl (Cloreto de Potássio)	Tonelada	7.000,00	0,1	700,00		
KCl (distribuição)	HD	80,00	1	80,00		
Fonolito (Truck – 14 ton)	Ton+frete	1299,68	0,375		487,38	
Fonolito (Carreta – 23 ton)	Ton+frete	962,89	0,375			360,89
Fonolito (distribuição)	HD	80,00	1		80,0	80,0
Fonolito (incorporação)	HM	150,00	1		150,0	150,0
			Total	6.861,00	6.719,63	6.593,14

*Valores atualizados em janeiro de 2022; **HD - Homem dia; ***HM - Hora máquina;

O custo de recuperação de pastagens depende, dentre outros fatores, do nível de degradação e da técnica de recuperação adotada, devendo para tanto, serem consideradas as despesas com a preparação inicial da área, limpeza, aração, gradagem; correção do solo por meio de calagem; reposição de nutrientes e a semeadura. Muito embora, as medidas de limpeza, aração e gradagem sejam etapas importantes para recuperação do solo, de forma isolada são insuficientes, pois os principais fatores de degradação do solo são a baixa fertilidade do solo e o excesso de lotação animal (MACEDO et al., 2019).

A maior deficiência dos solos brasileiros é de fósforo (P), contudo, a necessidade de N e K passa a ser maior conforme o grau de degradação do solo com pastagem (TOWNSEND et al., 2010). Dessa forma, embora o K não represente a maior contribuição percentual na composição dos custos, a substituição do KCl pelo Fonolito torna-se mais vantajosa em áreas com maior grau de degradação.

Os resultados observados nesse estudo são semelhantes aos apresentados por Townsend, Costa e Pereira (2010) que verificaram gastos com a aquisição de corretivos e fertilizantes para a recuperação de pastagens degradadas na Amazônia, corresponderam de 30 a 63% do custo total, dependendo o grau de degradação da pastagem.

Os custos para recuperação de pastagens degradadas variam expressivamente ao longo dos anos e, diversos fatores podem justificar essas variações, como a técnica adotada, a quantidade de insumo utilizada para cada área estudada, além da variação de preço dos insumos até os dias atuais. Segundo Kichel et al. (2006) o investimento necessário no preparo do solo,

adubação e plantio de *B. brizantha* alcançou R\$ 446,00 por hectare enquanto Townsend et al. (2010) estimaram R\$ 2.250,00. Em estudos mais recentes, como o de Silva et al. (2019), o valor de recuperação por hectare foi de R\$ 1.795,28, incluindo as etapas de análise do solo, correção, adubação e semeadura. Entretanto, que as quantidades de fertilizantes utilizados no referido trabalho são menores do que os apresentados nesse estudo, o que justifica o custo mais baixo.

Barbieri et al. (2022) estimou um custo de R\$ 2.002,97, somente para fertilização do solo, sem contar as despesas com limpeza, regularização e correção. O experimento citado é o que apresenta valor mais aproximado dos custos apresentados nesse estudo, sendo os valores de R\$ 4.308,00 e R\$ 3.686,75, para fertilização com uso de KCl e pó de rocha, respectivamente.

O custo de recuperação utilizando o Fonolito, no total de R\$ 6.593,14 por hectare, é superior aos valores obtidos em outras pesquisas, que utilizam o KCl como fonte de K. Contudo, deve ser observado outros fatores que podem reduzir o investimento a longo prazo, como o fato de não ser necessário a reaplicação de Fonolito, em razão do produto ter menor solubilidade, fazendo com que o K seja disponibilizado de forma lenta e gradual.

O uso de pó de rocha na agricultura tem se apresentado como uma alternativa eficiente do ponto de vista produtivo, além de promover redução dos impactos ambientais provocados pela atividade econômica (SILVEIRA et al., 2021; WRITZL et al., 2019). Dessa forma, além de ser viável e sustentável essa técnica é também mais econômica.

3.3 Distância máxima viável para transporte do pó de rocha

O custo do frete é um dos fatores que mais afeta o preço e a viabilidade do uso dos remineralizadores sendo, portanto, necessário estabelecer a distância máxima viável economicamente para o seu transporte. Por outro lado, o KCl apresenta pequenas variações de preço em todo o país, principalmente pois por ser mais concentrado (60% K₂O) e ter uma boa logística de distribuição por todo o Brasil, possui custos relativos ao transporte mais baixos que podem ser incorporados e diluídos ao seu preço final.

Tomando-se a cotação de R\$ 700,00 (janeiro de 2022) para a compra de 100 kg de KCl em Sitio Novo do Tocantins (Tabela 3) e, comparando-se com a quantidade equivalente em K₂O de 375 kg do remineralizador, estima-se que o preço do produto transportado por veículos com capacidade de carga de 14 e 23, alcance respectivamente R\$ 487,38 e R\$ 360,89 (Figura 4). O que no momento econômico, representa uma vantagem considerável, independentemente do tipo de veículo utilizado, pois nesse cenário, o uso do Fonolito seria economicamente viável até a distância de 3407 km se o transporte for feito por um caminhão *truck* (14 toneladas) e de até 4959 km caso o transporte venha a ser feito por uma carreta (23 toneladas) (Figura 4).

Em contrapartida, se for considerado a cotação referente ao mês de abril de 2021, período anterior a pandemia de COVID-19 e do conflito entre Rússia e a Ucrânia, em que o preço de mercado do KCl situava-se em R\$ 253,40 para a compra de 100 kg de KCl em Sitio Novo do Tocantins, as distâncias máximas de viabilidade para o transporte do remineralizador não ultrapassaria 900 km se o transporte for efetuado com caminhão *Truck* ou 1350 km se o transporte fosse realizado com carreta.

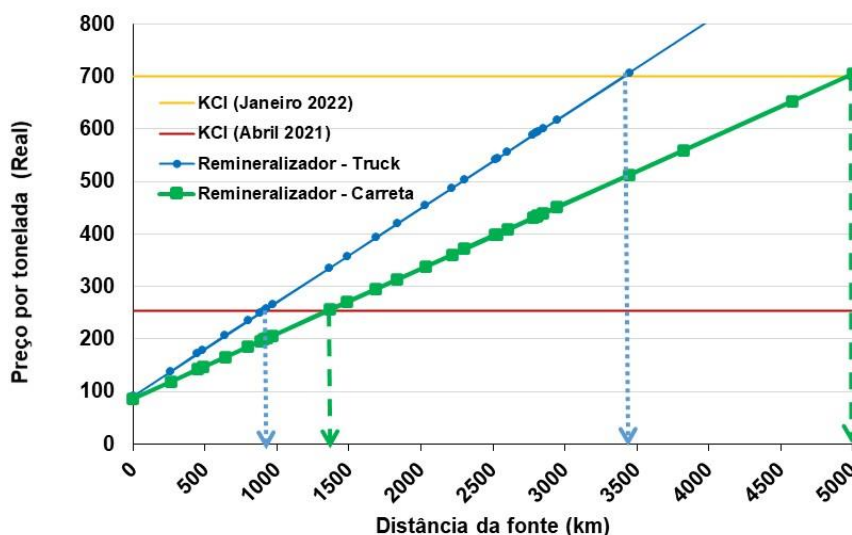


Figura 4. Comparação do custo de aquisição do KCl em relação ao preço mínimo de quantidade de potássio equivalente ao remineralizador em função da distância da jazida em Poços de Caldas (MG).

Um estudo semelhante, desenvolvido por Hoff et al. (2013) aponta que a viabilidade do uso da rochagem requer a proximidade entre a fonte do pó de rocha e a área de aplicação, em função dos custos de transporte. Assim, o estudo concluiu que o uso de pó de rocha basalto, oriundo da Formação Serra Geral, é viável para a viticultura na Região Vinícola Serra Gaúcha, pois as distâncias identificadas são inferiores a 50 km.

Cola e Simão (2012) também afirmam que a substituição de fertilizantes sintéticos por pó de rocha deve priorizar a utilização de insumos de origem mais próxima da área de cultivo, para reduzir os custos com transporte e, assim, atender as demandas da agricultura sustentável.

O custo com o transporte é um grande desafio para o crescimento do uso dos remineralizadores, visto que os produtos registrados no Brasil estão disponíveis em apenas sete estados brasileiros. Nesse sentido, os resultados deste trabalho evidenciam vantagens competitivas, econômicas e ambientais, para o uso dos remineralizadores em relação ao KCl, mesmo quando o custo do frete supere o valor do insumo onerando a sua aquisição.

Há que se destacar a importância de se identificar novos remineralizadores que estejam próximos das áreas de cultivo, não apenas para diminuir os custos com o transporte, mas sobretudo para diminuir o impacto ambiental causado pela emissão de gases por motores a combustão. Além disso, deve ser ressaltado que uso fontes nacionais liberta o produtor da imprevisibilidade de oferta, da volatilidade do preço e da dependência da importação de KCl, especialmente diante da atual conjuntura mundial.

4. CONCLUSÕES

A utilização do Fonolito possibilitou economia de 3,9% de em relação ao uso do KCl.

No cenário econômico em que o estudo foi realizado, as distâncias máximas economicamente viáveis para o transporte de remineralizadores realizado por veículos com capacidade de carga de 14 toneladas e de 23 toneladas foram de 3407 e 4959 km, respectivamente.

A substituição do KCl pelo Ekosil se torna viável quando a aquisição for realizada em grandes quantidades mesmo para regiões distantes da fonte.

Referências

- ANTT. Agência Nacional de Transporte Terrestre. **Resolução nº 5.959, de 20 de janeiro de 2022**. Altera a Resolução nº 5.867, de 14 de janeiro de 2020, que estabelece as regras gerais, a metodologia e os coeficientes dos pisos mínimos, referentes ao quilômetro rodado na realização do serviço de transporte rodoviário remunerado de cargas, por eixo carregado, instituído pela Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas - PNPM-TRC. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.959-de-20-de-janeiro-de-2022-375504795>. Acesso em 20 jan. 2022
- ASSIS, T. C. de et al. Caracterização da rocha fonolito para aplicação na agricultura. 2017. In: **XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**. 2017. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2033/1/Tainara%20Cristina%20de%20Assis.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022
- BARBIERI, R. S. **Recuperação de uma pastagem degradada e variação de atributos do solo: um estudo geoestatístico e econômico**. 2020. 103 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Ilha Solteira: 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/191420>. Acesso em: 10 jan. 2022
- BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Brasília: 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20a%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20e,na%20data%20de%20sua%20publica%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 10 jan. 2022
- BRITO, R. S. et al. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2331>. Acesso em: 10 jan. 2022
- CASTRO, N. R.; SILVA, A. F.; GILIO, L. Desempenho e inter-relações do setor de fertilizantes: uma análise segundo a ótica de insumo-produto. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 56, 2020. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/991>. Acesso em 10 jan. 2022
- CASTRO, H. A. M. de. **Matemática financeira com abordagem em educação financeira para jovens do ensino médio**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Matemática). Universidade Federal de Roraima. Boa Vista: 2016. Disponível em: <https://w3.dmat.ufr.br/hector/DissertacaoHewerton.pdf>. Acesso em 07 mar. 2022.
- COLA, Geovana Poton Arcobeli; SIMÃO, João Batista Pavesi. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 3, 2012. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7422237>. Acesso em: 07 mar. 2022.

- COSTA, P. et al. A dependência de importações no suprimento da demanda de fertilizantes no Brasil e sua entrada pelo porto de Santos. **Revista Produção Industrial & Serviços**, **5(2)**, 53-65. 2018. Disponível em: https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev_prod/article/view/52414. Acesso em: 10 jan. 2022
- DETTMER, C. A. et al. Agricultura e inovação: estudo sobre a viabilidade de uso do 'pó de rocha' em sistemas de produção agrícola. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 3., 2019, Naviraí. **anais...** Naviraí: UFMS, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1119197>. Acesso em: 10 jan. 2022
- DETTMER, C. A. et al. Uso de 'pó de rocha' em sistemas de produção agrícola: breve análise sobre viabilidade técnica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 4., 2020, Naviraí. **anais...** Naviraí: UFMS, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1126274>. Acesso em: 10 jan. 2022
- FERREIRA, P. F. **Panorama da produção de potássio e o potencial brasileiro: a exploração dos depósitos**. 2017. 41 f. TCC (Bacharelado em Geologia) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/906/1/TCC_PanoramaProducaoPotasio.pdf Acesso em 12 fev. 2022
- FRANÇA, S. C. A. et al. Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Belo Horizonte-MG: 2019. Disponível em: https://www.artigos.entmme.org/?wpfb_s&wpfb_file_sort=%3Cfile_size. Acesso em 10 jan. 2022
- GLOBALFERT. Informações de mercado – Preço de matéria prima, 2022, Disponível em <https://globalfert.com.br/preco-mp/> Acesso em: 20 dezembro 2022
- HOFF, R. et al. Sistema de informações geográficas como contribuição à utilização de pó de rocha oriundo da formação serra geral em áreas de indicações geográficas vitivinícolas no Brasil. In: Embrapa Uva e Vinho-Artigo em anais de congresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **anais**. Poços de Caldas: Petrobras: Embrapa, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/978956>. Acesso em 07 mar. 2022
- INDEXMUNDI. Potassium Chloride Monthly Price - US Dollars per Metric Ton, 2022, Disponível em <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=potassium-chloride&months=240>. Acesso em: 16 dezembro 2022
- JORGE, V. S.; ALVES, J. M.; SOUZA, F. N. da S. Uso da rochagem como técnica sustentável de recuperação de solos degradados. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015**. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/304.pdf>. Acesso em 31 jan. 2022

- KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; LIMA, N. R. C. B.; SILVEIRA, D. S.; GALDINO, S.; COMIRAN, G.; ARAÚJO, M. T. B. D.; PARIS, A. Sistema de recuperação e manejo de pastagem em solos arenosos: produtividade e custo de produção. Corumbá: Embrapa Pantanal; [Campo Grande, MS]: Embrapa Gado de Corte, 2006. 1 Folder.
- KLEIN, Z. H. de L.. **Alteração nos atributos químicos do solo após aplicação de pó de basalto como remineralizador**. 2020. xi, 56 f. Dissertação (mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual de Maringá, 2020., Maringá, PR. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5893>. Acesso em 10 jan. 2022.
- LIMA, S. de O. et al. Caracterização fisiográfica do estado do Tocantins e principalmente dos solos nas várzeas no vale do Araguaia estado do Tocantins. In: 10ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO. **anais**. 2019. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/10jice/paper/view/9641>. Acesso em 20 jan. 2022
- MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1112923>. Acesso em 23 jan. 2022
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. Brasília, 2016. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106. Acesso em 23 jan. 2022.
- MOTTA, M. B. Avaliação do potencial de potássio no Brasil: área Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, estados do Amazonas e Pará. Manaus: **Informes de recursos minerais CPRM**, 2020. Disponível em: <http://dspace.cprm.gov.br/handle/doc/21740>. Acesso em 12 fev. 2022
- OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D.. Mercado de fertilizantes: Dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/606>. Acesso em 07 fev. 2022
- PÁDUA, E. J. de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras: Lavras-MG, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76755/1/Alvaro-Dissertacao-Eduane.pdf>. Acesso em 31 jan. 2022
- PEREIRA, M. de A. et al. Pastagens: condicionantes econômicos e seus efeitos nas decisões de formação e manejo. **Embrapa Gado de Corte-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123956>. Acesso em 20 jan. 2022

- QUINTANA, N. R. G.; BUENO, O. de C.; MELO, W. J. de. Custo de transporte do lodo de esgoto para viabilidade no uso agrícola. **Energia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 90-96, 2012. Disponível em: <https://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/648>. Acesso em 06 set. 2022
- SANTOS, R. V.. Custos operacionais e formação de preço de frete no transporte rodoviário de cargas um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Custos-ABC. **anais**, 2007. Disponível em: <http://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1429>. Acesso em 06 set. 2022
- SCHNEIDER, S. **Resultado econômico do imobilizado: um estudo com a frota de veículos da transportadora familiar Alfa**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Universidade de Caxias do Sul. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/9476>. Acesso em 06 set. 2022
- SILVA, P. C. da; DINIZ, R. G; FERREIRA, M. A. A.; SANTOS, D. J. O.; SANTOS, G. O. Custos de técnicas sustentáveis e aplicáveis em recuperação de áreas de pastagens. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v.6 n.14: p.667-676, 2019.
- SILVEIRA, C. M. et al. Produtividade do amendoim sob efeito residual da rochagem em área de reforma de canavial. **South American Sciences**, v.2, n.1, p.21127-21127, 2021. Disponível em: <https://southamericansciences.com.br/index.php/sas/article/view/127>. Acesso em 10 jan. 2022
- SILVEIRA, R. T. G. da. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. viii, 98 f., il. 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/21151>. Acesso em 17 jan. 2022
- THEODORO, S. H. et al. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 22, n. 37, p. 01-120, jan./jun. 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22509>. Acesso em 10 jan. 2022
- THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas**. v. 10, n. 1, 22-28 p., 2013 Disponível em: <http://aspta.org.br/article/agrominerais-e-a-construcao-da-soberania-em-insumos-agricolas-no-brasil/>. Acesso em 20 jan. 2022
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.. Rochagem: uma questão de soberania nacional. In: **XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**. Gramado. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Suzi-Theodoro/publication/265509414_ROCHAGEM_UMA_QUESTAO_DE_SOBERANIA_NACIONAL/links/54108c990cf2df04e75d60c7/ROCHAGEM-UMA-QUESTAO-DE-SOBERANIA-NACIONAL.pdf. Acesso em 14 jan. 2022
- THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. de P.. Uso de remineralizadores na recuperação de áreas degradadas: estudo de caso do reservatório de Três Marias/MG. In: III Congresso Brasileiro de Rochagem, **anais**, 8 a 11 de novembro de 2016. p. 395-401. Disponível em: Acesso em 31 jan. 2022

TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. de L.; PEREIRA, R. G. de A. **Aspectos econômicos da recuperação de pastagens na amazônia brasileira.** Amazônia: Ci. & Desenv., Belém, v. 5, n. 10, jan./jun. 2010.

WRITZL, Thaniel Carlson et al. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2019. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/n5gdt52levhifekqvmvq4brsua/access/wayback/https://periodicos.ufv.br/rbas/article/download/3077/pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022

ZIMMER, A. H. et al. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens.** Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2012. 42 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/951322/1/DOC189.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022