Calagem e Adubação

Alberto Baêta dos Santos
Nand Kumar Fageria

A maioria dos solos de várzea é ácido, o que limita a produção agrícola. Teoricamente, a acidez é caracterizada como os teores de hidrogênio e alumínio no solo, mas, na prática, a acidez do solo é um complexo de vários fatores, incluindo as deficiências e/ou toxicidades nutricionais, a redução da atividade microbiana benéfica para as plantas e a erosão do solo. Além disso, a acidez aumenta a incidência de doenças, principalmente as fúngicas, que prejudicam o crescimento das plantas. Entre as várias práticas de manejo dos solos ácidos, o uso de calcário é a mais comum e a mais efetiva. Na prática da calagem, vários fatores devem ser levados em conta, como a necessidade de calagem pela cultura, pH, textura e teor de matéria orgânica do solo. Além desses, outros fatores devem ser considerados, como a granulometria do calcário, o tempo e a frequência da calagem e, também, o custo do material usado para fazer a calagem. Os níveis adequados de pH e de saturação por bases e por alumínio, em solos de várzea, foram estabelecidos para as principais culturas; assim, recomenda-se que estes índices sejam utilizados para identificação do grau de acidez dos solos de várzea e, consequentemente, para a sua correção.

A aplicação de calcário propicia várias transformações químicas no solo significativas para o desenvolvimento das culturas. O arroz é bastante tolerante à acidez do solo, contudo, se plantado em sucessão com soja, feijão ou milho, a saturação por bases deve situar-se em torno de 60% a 65%.

Os principais nutrientes cuja deficiência limita a produtividade do arroz irrigado no Estado do Mato Grosso do Sul são o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Ressalta-se, contudo, que a deficiência de zinco tem sido observada em algumas áreas.

Recomendações

O melhor critério para recomendação de calagem é determinar a resposta da cultura à aplicação do calcário. As recomendações de calagem podem ser feitas com base nos teores de alumínio, cálcio e magnésio e na saturação por bases.

Quando o teor de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ é inferior a 2 $cmol_c\ kg^{-1}$ e o teor de argila é maior que 20%, emprega-se a seguinte fórmula:

Necessidade de calcário (N. C.) (t ha^{-1}) = 2 x Al + [2 – (Ca + Mg)] x f

em que: f = 100/ PRNT do calcário.

Para solos com teor de argila maior que 20% e teor de Ca + Mg maior que 2, a necessidade de calcário é calculada pela equação:

N.C. (t ha^{-1}) = 2 x Al x f

Quando se tratar de solo com teor de argila menor que 20%, a quantidade de calcário a ser aplicada é dada pelo maior valor encontrado entre estas fórmulas:

N.C. (t ha^{-1}) = 2 x Al x f ou N.C (t ha^{-1}) = 2 – (Ca + Mg) x f

Cabe ressaltar que os solos arenosos têm, em geral, uso agrícola limitado, por apresentarem baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de retenção de água e maior suscetibilidade à erosão. Deve-se considerar que a dose de calcário calculada por este método é insuficiente para elevar a saturação por bases ou o pH do solo aos níveis adequados para a maioria das culturas anuais, tanto em solo de cerrado como de várzea.

Um outro método de recomendação de calcário é o que utiliza a saturação por bases do solo, a qual, do ponto de vista da propriedade química do solo, é um importante índice de sua acidez. Neste caso, a necessidade de calcário é calculada pela seguinte fórmula:

N.C.(t ha^{-1}) = [$CTC_{potencial}$ ($V_2 - V_1$) / 100] x f

em que:

$CTC_{potencial}$ = capacidade de troca de cátions a pH 7, em $cmol_c\ kg^{-1}$;
V_2 = saturação por bases adequada para a cultura a ser implantada, em %; e
V_1 = saturação por bases atual do solo, em %.

Adubação

Os principais nutrientes cuja deficiência limita a produtividade do arroz irrigado no Estado do Mato Grosso do Sul são o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Ressalta-se, contudo, que a deficiência de zinco tem sido observada em algumas áreas.

Nitrogênio

O nitrogênio é responsável pelo aumento da área foliar do arroz irrigado, o que aumenta a eficiência de intercepção da radiação solar e a taxa fotossintética, e dos componentes da produtividade e, consequentemente, da produtividade de grãos. A cultura de arroz geralmente responde à aplicação de nitrogênio, se outros fatores da produção não forem limitantes. Se o nitrogênio não for aplicado na quantidade e época corretas, a sua deficiência logo aparece na cultura do arroz. As principais razões da deficiência deste nutriente são suas perdas por vários processos, baixas doses de aplicação e diminuição do teor de matéria orgânica devido aos cultivos sucessivos. À exceção do potássio, o nitrogênio é também o nutriente que a planta de arroz acumula em maior quantidade.

O nitrogênio é um nutriente facilmente perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Nesta situação, seu manejo apropriado é fundamental, tanto para a redução do custo de produção quanto para a minimização dos efeitos da poluição ambiental. A eficiência do uso do nitrogênio pode ser aumentada com o uso da dose adequada, época apropriada de aplicação, manejo adequado de água, controle de doenças, pragas e plantas daninhas e uso de espaçamento entre linhas e densidade de semeadura adequados. O emprego de cultivar com alto potencial de produção e eficiente no uso de nitrogênio também é um componente importante do sistema de produção do arroz irrigado.

Dose

A dose adequada de nitrogênio é aquela cuja quantidade propicia uma produtividade máxima econômica e acima da qual não há resposta da cultura que justifique aumentar a quantidade do nutriente em estudo. Por ser o nitrogênio um

nutriente móvel no solo e que muda de concentração em função de clima, solo e tempo, as recomendações de adubação nitrogenada são feitas com base na resposta da cultura à aplicação deste nutriente em condições de campo. Em estudo conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, em condições de campo, verificou-se resposta significativa e quadrática da produtividade de grãos com a aplicação de nitrogênio, nos três anos de experimentação (Figura 1).

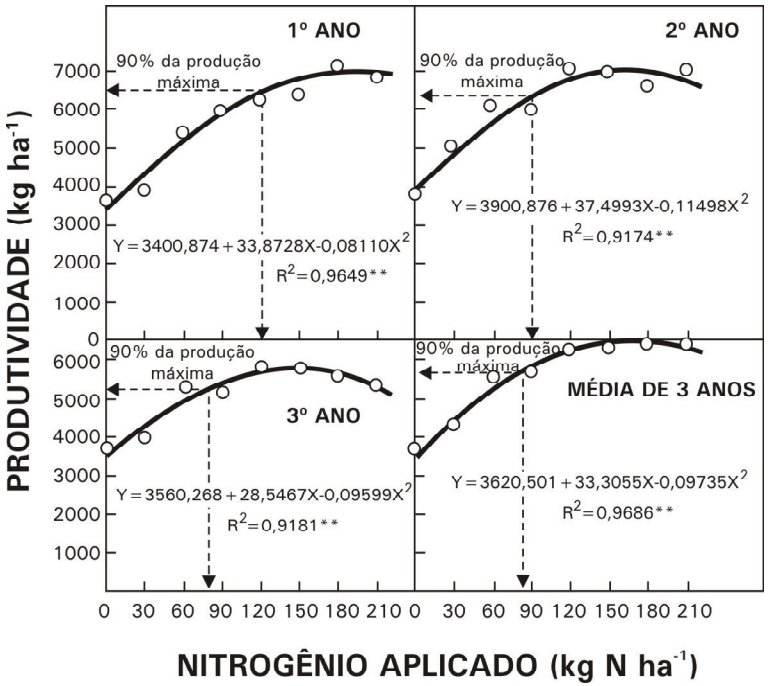

Figura 1. Relação entre o nitrogênio aplicado e a produtividade de grãos.

No primeiro ano, 90% da produtividade máxima, 6.298 kg ha^{-1}, considerado o nível econômico, foi obtida com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. No segundo e terceiro anos, este nível foi obtido com a aplicação de 90 kg e 78 kg ha^{-1} de N, respectivamente, correspondendo a 6.345 kg ha^{-1} e 5.203 kg ha^{-1}, respectivamente. A média dos três anos mostrou que 90% da produtividade máxima, 5.731 kg ha^{-1}, foi obtida com a aplicação de 84 kg ha^{-1} de N, o que significa que houve efeito residual do nitrogênio. Em outro ensaio de campo também foi demonstrado que a cultura do arroz irrigado responde

significativamente e de maneira quadrática à aplicação de nitrogênio (Figura 2). Com até 200 kg ha^{-1} de N, a cultura respondeu significativamente, mas 90% da produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N. Com base nestes resultados, a dose recomendada de nitrogênio para a cultura do arroz irrigado situa-se na faixa de 90 kg a 120 kg ha^{-1}.

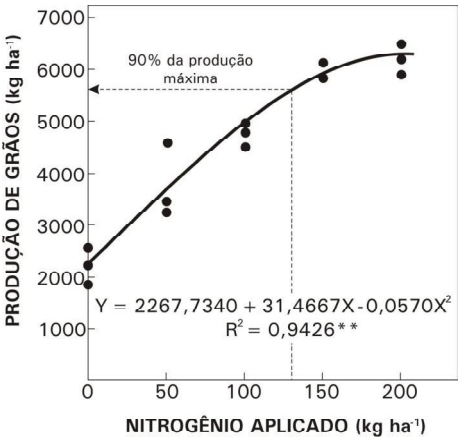

Figura 2. Resposta do arroz irrigado à aplicação de nitrogênio. Médias de produtividade de 12 genótipos.

Em estudo conduzido na Fazenda San Francisco, no Município de Miranda, MS, num Vertissolo, ao se avaliar a resposta do arroz irrigado a doses de N combinadas com 60 e 120 kg ha^{-1} de K_2O, verificaram-se as produtividades máximas com 120 e 126 kg ha^{-1} de N com a menor e a maior dose da adubação potássica, respectivamente. Verificou-se também que o máximo retorno econômico da adubação nitrogenada e potássica foi obtido com a aplicação conjunta de 113 kg ha^{-1} de N e 120 kg ha^{-1} de de K_2O.

Época de aplicação

Como o nitrogênio é um nutriente móvel no sistema solo-planta e se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação, o parcelamento durante o ciclo da cultura pode aumentar sua eficiência de utilização.

Nos experimentos conduzidos em diversos locais na região tropical, as maiores produtividades de grãos foram verificadas quando o nitrogênio foi aplicado na semeadura, juntamente com o fósforo e potássio, e em duas coberturas.

O arroz absorve N durante todo o seu ciclo, porém há dois estádios de desenvolvimento críticos: o perfilhamento e a diferenciação do primórdio floral. Com isso, para maior eficiência de absorção e utilização do N, as recomendações são no sentido de se aplicar o N próximo dessas ocorrências.

A primeira aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura deve ocorrer no máximo três dias antes do início da inundação definitiva, pois a água de irrigação o incorpora ao solo e o mantém disponível às plantas por um período maior. As demais aplicações de N devem ocorrer sobre a lâmina de água não circulante.

Tem-se verificado que a aplicação de nitrogênio na época do emborrachamento e da floração não aumenta a produtividade de grãos, em comparação com a aplicação realizada mais cedo, no estádio de desenvolvimento da planta. Quando se aplica o nitrogênio mais cedo, produz-se maior número de panículas, que é um dos componentes que determinam a produtividade de grãos. Com isso, é importante que pelo menos parte do N seja aplicada até 30 dias após a emergência das plantas.

A ocorrência de brusone nas folhas pode ser favorecida pelo fornecimento de maiores quantidades de nitrogênio na semeadura; nesse caso, o tratamento de sementes das cultivares suscetíveis é indispensável. Por outro lado, é oportuno lembrar que a aplicação tardia da última cobertura pode favorecer a ocorrência de brusone nas panículas.

Fontes de nitrogênio

As principais fontes de nitrogênio são os fertilizantes químicos, que apresentam variações químicas e físicas. Devido a essas diferenças, cada fertilizante reage no solo de maneira diversa, e sua eficiência, como fonte de nitrogênio, também varia.

Os principais fertilizantes nitrogenados, suas fórmulas químicas e os teores de nitrogênio são apresentados na Tabela 1. No Brasil, as principais fontes de nitrogênio utilizadas na cultura do arroz são a uréia e o sulfato de amônio. Os nitratos não são recomendados devido à sua fácil perda pelos processo de lixiviação e desnitrificação em solos inundados.

Tanto o sulfato de amônio como a uréia são igualmente efetivos, porém, o custo de aplicação da uréia é menor em relação ao sulfato de amônio, pois a uréia contém 45% de nitrogênio contra 21% de nitrogênio do sulfato. Por outro lado, como o sulfato de amônio contém cerca de 24% de enxofre, em caso de deficiência deste nutriente, uma parte do nitrogênio deve ser aplicada como sulfato de amônio.

Tabela 1. Principais fertilizantes nitrogenados e algumas de suas propriedades.

Fertilizante	*Fórmula química*	*Teor de N (%)*	*Solubilidade em água (%)*
Sulfato de amônio	$(NH_4)_2SO_4$	21	100
Uréia	$CO(NH_2)_2$	45	100
Nitrato de amônio	NH_4NO_3	33	100
Cloreto de amônio	NH_4Cl	26	100
Cianamida de cálcio	$CaCN_2$	21	100
Nitrato de cálcio	$Ca(NO_3)_2$	16	100
Nitrato de sódio	$NaNO_3$	16	100
Amônia anidra	NH_3	82	100
Nitrato de potássio	KNO_3	13	100
Fosfato monoamônico	$NH_4H_2PO_4$	11	100
Fosfato diamônico	$(NH4)_2H_2PO_4$	18	100

Fósforo

Depois do nitrogênio, o fósforo é o nutriente cuja deficiência mais limita a produtividade do arroz irrigado nos solos de várzea do Brasil. A deficiência deste nutriente está relacionada ao seu baixo teor natural no solo e à alta capacidade de fixação dos solos de várzea. A deficiência de fósforo diminui o número de perfilhos e a área foliar e, consequentemente, reduz o processo fotossintético na planta. Entre outras funções fisiológicas e bioquímicas, esse nutriente aumenta o número de panículas na planta de arroz. A maior parte do fósforo acumulado na planta é exportada para os grãos.

A necessidade de adubação fosfatada pode ser avaliada pelos resultados das análises do solo e foliar. As recomendações de adubação fosfatada, contudo, são feitas com base nos resultados da análise do solo. A quantidade necessária irá depender do efeito residual do fósforo no solo, da produtividade da cultivar utilizada, do balanço entre os outros nutrientes essenciais, principalmente nitrogênio e potássio, dos teores de argila e de matéria orgânica do solo, do extrator usado e do manejo da água.

Quando o solo é inundado, a solubilidade do fósforo aumenta. Nos solos ácidos, como a maioria dos solos de várzea, os fosfatos de ferro e de alumínio são as formas predominantes, os quais liberam fósforo quando o pH do solo aumenta com a inundação. O aumento da solubilidade do fosfato de ferro é causado pela redução do Fe^{3+} a Fe^{2+}. O aumento da disponibilidade de fósforo com a inundação está ligado à quantidade de fósforo natural do solo fixado pelos óxidos de ferro e alumínio.

Dose

Sendo o fósforo um nutriente imóvel no solo, as recomendações de adubação fosfatada geralmente são feitas com base na calibração da análise do solo e produtividade da cultura. Isto significa que, no estudo de calibração de análise do solo, é necessário criar uma ampla faixa de fósforo no solo pela aplicação de fertilizante fosfatado e medir a produtividade da cultura correspondente ao teor de fósforo no solo.

A dose recomendada de fósforo é baseada no resultado da análise do solo (Tabela 2). Em geral, o nível adequado de fósforo nos solos de várzea do Brasil Central situa-se em torno de 13 mg kg^{-1} de solo.

Tabela 2. Recomendação de adubação fosfatada com base na análise do solo pelo extrator Mehlich 1.

Teor de P no solo (mg kg^{-1})	*Interpretação do resultado da análise*	*Necessidade de P_2O_5 (kg ha^{-1})*
0 – 2,6	Muito baixo	150
2,6 – 8,8	Baixo	150
8,8 – 13,0	Médio	100
>13	Alto	50

Época de aplicação

O processo de difusão é o principal mecanismo para o transporte do fósforo no solo. Portanto, para manter a fertilidade do solo, o fósforo deve ser aplicado bem perto do sistema radicular, para aumentar a sua eficiência de absorção. Devido à sua alta capacidade de fixação em solo ácido, o fósforo solúvel, como superfosfato simples ou triplo, deve ser aplicado no sulco, na época da semeadura.

Fontes de fósforo

As principais fontes de reposição do fósforo no solo são os fertilizantes químicos relacionados na Tabela 3. A eficiência de um fertilizante fosfatado é determinada principalmente pelas suas propriedades físicas e químicas e pela sua interação com o solo. Além dos adubos formulados, os superfosfatos simples e triplo são também utilizados como fontes de fósforo na produção das culturas anuais, como arroz, milho e soja. Para estas culturas, os fosfatos naturais são as fontes mais baratas, mas são muito inferiores aos superfosfatos, os quais, geralmente, contêm de 18% a 40% de P_2O_5 e a solubilidade em ácido cítrico, a 2%, varia de 1% a 16%. Cabe esclarecer que o termo disponibilidade de fósforo é aplicado aos fertilizantes fosfatados e inclui a solubilidade do fósforo em ácido cítrico a 2%.

Tabela 3. Principais fertilizantes fosfatados e algumas de suas propriedades.

Fertilizante	*Fórmula química*	*Teor de P_2O_5 (%)*	*Solubilidade em água (%)*
Ácido fosfórico	H_3PO_4	55	100
Fosfato diamônico	$(NH_4)_2HPO_4$	53	100
Superfosfato simples	$Ca(H_2PO_4)_2.\ H_2O,\ CaSO_4.H_2O$	20	85
Superfosfato triplo	$Ca(H_2PO_4)_2.\ H_2O$	45	87
Fosfato bicálcico	$CaHPO_4,\ CaHPO_4.2H_2O$	40	4
Metafosfato de cálcio	$Ca(PO_3)_2$	62	4
Fosfato monoamônico	$NH_4H_2PO_4$	48	100
Termofosfato (BZ-Yoorin)	-	18	16 em ácido cítrico 2%

Considerando-se o contexto agroeconômico, a melhor estratégia é a aplicação de fosfatos naturais, como correção, e de fontes solúveis, como manutenção. Os fosfatos naturais devem ser aplicados a lanço, em quantidades maiores e incorporados, e são mais eficientes em solos ácidos devido à sua solubilidade a baixo pH do solo. A sua eficiência cai significativamente quando é aplicado em solos corrigidos com calcário.

Potássio

O potássio é um nutriente importante para as plantas em vários processos fisiológicos e bioquímicos que determinam a produtividade das culturas. O interesse pela adubação potássica aumentou com a introdução de cultivares de alto potencial produtivo e pelos efeitos deste elemento na redução de doenças na cultura do arroz irrigado, principalmente brusone e mancha-parda. A quantidade necessária de potássio também aumentou para manter o balanço nutricional, devido à maior demanda de nitrogênio e fósforo por parte das cultivares modernas.

O potássio é móvel na planta, portanto, sua deficiência aparece primeiramente nas folhas mais velhas. A resposta do arroz irrigado ao potássio não é tão expressiva como no caso do nitrogênio e fósforo, devido ao seu alto teor no solo e à possibilidade de liberação da fração de potássio não-trocável para a solução do solo. Contudo, o potássio é acumulado pelo arroz irrigado, especialmente pelas cultivares modernas, em maior quantidade que quaisquer outros nutrientes essenciais. Assim, em cultivos sucessivos ou intensivos, há possibilidade de ocorrer deficiência deste elemento, se não forem tomadas providências apropriadas para a sua reposição. Além da absorção pela

cultura, o potássio pode ser perdido pela lixiviação e erosão do solo; podendo, parte dele, ser fixada no solo, dependendo da mineralogia e textura do solo. Na cultura do arroz, cerca de 85% a 90% do potássio acumulado na planta fica na palha. Com isto, a incorporação de restos culturais pode ajudar na reciclagem deste elemento. Entretanto, como a palha de arroz possui alta relação C/N (>50), deve-se tomar cuidado com relação ao tempo entre a incorporação dos restos de cultura e a semeadura da cultura subsequente. Na colheita, para uma produção normal, superior a 6.000 kg ha^{-1} de grãos, o teor adequado de potássio, na palha, situa-se em torno de 17 g kg^{-1} ou 1,7% e, nos grãos, em torno de 2,6 g kg^{-1} ou 0,26%. Para produzir uma tonelada de grãos, a cultura do arroz irrigado acumula potássio na faixa de 35 kg a 40 kg na palha e grãos, dependendo da produtividade e da cultivar utilizada.

Cerca de 40% a 45% do potássio aplicado é recuperado pela cultura, o que corresponde, mais ou menos, à mesma proporção do nitrogênio. Na média, a eficiência de utilização do potássio (kg de grãos produzido por kg de potássio acumulado) é menor que a do nitrogênio e a do fósforo. A resposta da cultura de arroz à aplicação de potássio depende do manejo da água e do balanço adequado de outros nutrientes, principalmente do nitrogênio e do fósforo.

Dose

Como a maior parte do potássio é transportada pelo processo de difusão no sistema solo-planta, ele é tido como nutriente pouco móvel no solo. As recomendações de adubação potássica também são feitas com base na análise do solo. Em média, quando o teor de potássio no solo é maior que 50 mg kg^{-1} do solo (500 mmol dm^{-3} ou 50 ppm), extraído com o extrator Mehlich 1 (0,05N HCl + 0, 025N H_2SO_4), a cultura de arroz não responde à aplicação de potássio. Neste caso, recomenda-se uma aplicação de aproximadamente 60 kg a 70 kg ha^{-1} de K_2O. Já quando o teor de potássio é menor que 50 mg kg^{-1} do solo, deve-se aplicar de 100 kg a 120 kg ha^{-1} de K_2O.

Época de aplicação

Geralmente, os fertilizantes potássicos são aplicados no sulco na época da semeadura, devido a sua movimentação pela difusão no solo. Contudo, em solos tropicais, onde existe precipitação alta, ou em arroz inundado, há possibilidade de lixiviação e perdas por erosão. A perda por lixiviação deste elemento é maior em solos com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e em solos com baixo teor de argila. Em solo arenoso, com teor de argila

menor que 20%, uma parte deste nutriente pode ser aplicada em cobertura, junto com o nitrogênio, para evitar a lixiviação e aumentar a eficiência de absorção.

Fontes de potássio

Não há muita controvérsia sobre as fontes de potássio. O cloreto de potássio e os adubos formulados (NPK) são as fontes mais comuns. Ainda que seja mais caro que o cloreto, o sulfato de potássio também é eficiente no fornecimento de potássio, com a vantagem de fornecer enxofre. As principais fontes de potássio são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Principais fertilizantes potássicos e algumas de suas propriedades.

Fertilizante	*Fórmula química*	*Teor de K_2O (%)*	*Solubilidade em água (%)*
Cloreto de potássio	KCl	60	100
Sulfato de potássio	K_2SO_4	50	100
Sulfato de potássio e magnésio	$K_2SO_4.2MgSO_4$	23	100
Nitrato de potássio	KNO_3	44	100

Zinco

A deficiência de zinco na cultura de arroz irrigado está relacionada com o baixo teor natural, aumento do pH com a inundação, calagem em solos ácidos, uso de cultivares modernas, que necessitam maior quantidade de nutrientes, e erosão do solo. O nível crítico de zinco na planta oscila entre 20 mg e 50 mg kg^{-1}, dependendo da idade da planta, enquanto, no solo, o nível crítico situa-se em torno de 1 mg a 2 mg kg^{-1}, dependendo do extrator, do teor de argila e do pH do solo. A deficiência de zinco pode ser corrigida com a aplicação de 3 kg a 6 kg ha^{-1} de Zn, em solos arenosos, e de 10 kg a 12 kg ha^{-1} de Zn, em solos argilosos e francos. A melhor fonte de zinco é o sulfato de zinco, que apresenta alta solubilidade em água. O zinco pode ser aplicado no sulco de semeadura, junto com a adubação básica. Caso a deficiência apareça durante o ciclo da cultura, deve-se aplicar sulfato de zinco, via foliar, na concentração de 0,5%. Se a deficiência for muito acentuada, pode-se fazer uma segunda aplicação depois de 10 a 12 dias de ter realizado a primeira.