

PODER DE SUPRIMENTO DE POTÁSSIO DE SOLOS DA
ZONA FISIAGRÁFICA DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL

Apresentada à Escola de Pós-Graduação
da Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, para o grau de
Magister Scientiae

Lindbergue Araújo Crisóstomo
Julho de 1970

AGRADECIMENTOS

Agradecemos penhoradamente ao Professor Abeilard Fernando de Castro, nosso orientador, pela assistência e encorajamento que nos dispensou por ocasião da elaboração deste trabalho.

Rendemos, também, nossa gratidão aos Professores Prisco Bezerra e Raimundo de Pontes Nunes e, às demais pessoas que direta ou indiretamente tornaram nosso trabalho possível.

Ao Programa de Educação Agrícola (Convênio MEC/USAID/SUDENE) e ao Conselho Nacional de Pesquisas nossos agradecimentos pela ajuda financeira e bolsa de estudo concedidas.

BIOGRAFIA

Lindbergue Araujo Crisóstomo, filho de Paulo Ferreira Crisóstomo e de Elsa Araujo Crisóstomo, nasceu em São Gonçalo do Amarante, Ceará, em 01 de abril de 1937.

Recebeu sua educação primária em escola pública no local de nascimento e a secundária no Colégio Estadual do Ceará em Fortaleza. Em 1959 foi matriculado no Escola do Agronomia da Universidade Federal do Ceará, sendo diplomado Engenheiro Agrônomo em dezembro de 1963. Foi bolsista de iniciação científica da Comissão Central de Pesquisas e do Instituto do Pesquisas Econômicas, quando estudante de Agronomia.

Em dezembro de 1959, foi convocado para o serviço ativo do Exército, sendo desmobilizado em abril de 1961.

Em maio de 1964, foi contratado como Auxiliar de Ensino da Universidade Federal do Ceará sendo, em 1966 promovido a Professor Assistente.

Em 1967, foi matriculado no curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, para obtenção do grau de Magister Scientiae em Fertilidade do solo, apresentando tese sobre o Poder de suprimento de potássio de solos da zona fisiográfica de Baturité, Ceará, Brasil.

ÍNDICE

Assunto	Página
Lista de tabelas	v
Lista de figuras	vi
1, Introdução	1
2, Revisão e literatura	3
2.1, Formas de potássio do solo	3
2.1.1, Potássio estrutural	3
2.1.2, Potássio trocável	5
2.1.3, Potássio solúvel em água	6
2.1.4, Potássio não trocável	6
2.2, Equilíbrio entre as diversas formas de potássio do solo	7
2.3, Fatores que afetam o equilíbrio do potássio no solo	10
2.3.1, Tipo de coloide	10
2.3.2, Secagem e umedecimento	10
2.3.3, Temperatura	11
2.4, Poder de suprimento de potássio do solo, métodos para a sua determinação	13
2.4.1, Cultivo contínuo	13
2.4.2, Método de Neubauer	15
2.4.3, Extração com ácidos fortes	15
3, Material e métodos	17
3.1, Solo	17
3.2, Cultivo contínuo	23
3.3, Método do Neubauer	24
3.4, Extração do potássio com acetato de amônio normal, pH 7,0	25
3.5, Extração do potássio com ácido sulfúrico (método 1, HUNTER e PRATT, 1957)	26
3.6, Extração do potássio com ácido nítrico normal, com fervura por 10 minutos	26

	página
4, Resultados e discussão	28
4.1, Cultivo contínuo	28
4.2, Método de Neubauer	32
4.3, Extração com ácidos fortes	35
4.4, Poder de suprimento do potássio	40
5, Conclusões	49
6, Resumo	51
7, Bibliografia	52

Lista das Tabelas

Tabela	Página
1. Formação geológica, litológica e classificação das 20 unidades de solo da zona fisiográfica de Baturité	18
2. Características físicas das 20 unidades de solo da zona fisiográfica de Baturité	19
3. Características químicas das 20 unidades de solo da zona fisiográfica de Baturité	20-21
4. Potássio trocável antes e após o cultivo, decréscimo na forma trocável, potássio removido pelo cultivo e o liberado da forma não trocável	30
5. Potássio extraído do solo por dois métodos biológicos e três métodos químicos e o potássio não trocável liberado pelo ácido nítrico	33
6. Coeficientes de correlação linear, mostrando as relações entre os teores de potássio extraídos dos solos por 3 métodos químicos e os teores removidos pelo cultivo contínuo, método de Neubauer, potássio não trocável liberado pelo cultivo contínuo e pelo ácido nítrico	48

Lista das figuras

Figura	Página
1. Casa de vegetação mostrando os vasos onde os solos foram submetidos ao cultivo contínuo durante 240 dias	27
2. Cultivo em vasos onde os solos foram submetidos a extração do potássio pelo método de Neubauer	27
3. Relação entre o potássio extraído pelo cultivo contínuo e potássio trocável	31
4. Relação entre o potássio extraído pelo método de Neubauer e o potássio trocável	34
5. Relação entre o potássio extraído pelo ácido nítrico e o extraído pelo ácido sulfúrico	37
6. Relação entre o potássio extraído pelo ácido nítrico e o potássio trocável	38
7. Relação entre o potássio extraído pelo ácido sulfúrico e o potássio trocável	39
8. Relação entre o potássio extraído pelo cultivo contínuo e o extraído pelo ácido sulfúrico	41
9. Relção entre o potássio extraído pelo cultivo contínuo e o potássio extraído pelo ácido nítrico	42
10. Relação entre o poder de suprimento de potássio e o potássio trocável	44
11. Relação entre o poder de suprimento de potássio e o potássio extraído pelo ácido sulfúrico	45
12. Relação entre o poder de suprimento de potássio e o potássio extraído pelo ácido nítrico	46

INTRODUÇÃO

O solo é o meio natural de onde as plantas retiram os nutrientes necessários às funções de crescimento e reprodução. À exceção do nitrogênio, o potássio é um dos elementos absorvidos em quantidades relativamente elevadas. O teor de potássio encontrado nas plantas varia de espécie para espécie. Dentro da mesma espécie este teor depende da disponibilidade e da forma encontrada no solo. A quantidade de potássio total do solo via de regra é maior do que a de nitrogênio e a de fósforo.

O estudo das diversas formas de potássio do solo, bem como de sua utilização pelas plantas tem merecido a atenção de um grande número de pesquisadores, os quais definiram quatro formas distintas: potássio estrutural, potássio não trocável, potássio trocável e potássio da solução do solo. Descrição detalhada das formas de potássio acima citadas é dada no capítulo I. Das formas de potássio do solo, apenas a trocável e a da solução do solo são consideradas como prontamente utilizadas pelas plantas, embora que as duas outras também o possam ser, porém, a longo prazo. A utilização do potássio estrutural foi evidenciada pelos trabalhos de Magnus citado por REITEMEIER (1951) e posteriormente por HALEY (1933). Quanto ao potássio não trocável, sua utilização pelas plantas foi enfatizada por HOAGLAND e MARTIN (1933).

As diversas formas de potássio do solo estão sujeitas a um equilíbrio dinâmico, o qual foi comprovado pelo fato das plantas absorverem mais potássio do que o existente nas formas trocável e solúvel em água somados e de que estas nunca são completamente exauridas pelo cultivo contínuo e prolongado do solo. Por outro lado, foi observado que quando se adicionava ao solo potássio solúvel em água, este não era totalmente recuperado quando se fazia a extração com acetato de amônia normal, pH 7,0. Isto quer dizer que o potássio adicionado ao solo era transformado em formas outras para que o equilíbrio fosse mantido.

No que concerne ao estudo do poder de suprimento de potássio do solo este foi bastante investigado, principalmente no exterior e nos climas temperados. Entre nós, o assunto carece de investigação, principalmente por encontrarmos em região de clima tropical.

O presente trabalho tem como objetivos: (1) determinar o poder de suprimento de potássio de alguns solos do Estado do Ceará, principalmente da zona fisiográfica de Baturité; (2) estudar a correlação entre alguns métodos empregados para a determinação do poder de suprimento de potássio do solo; (3) fornecer subsídios para o estudo do potássio em solos tropicais.

REVISÃO E LITERATURA

2.1, Formas de potássio do solo

Com a finalidade de facilitar o estudo do potássio do solo, é comum dividí-lo em várias formas. Esta divisão é puramente arbitrária, pois não existe um limite definido entre uma e outra forma.

WOOD e DeTURK (1941) dividiram o potássio do solo em quatro formas, denominadas: potássio mineral primário, potássio fixado solúvel em ácido, potássio fixado insolúvel em ácido, potássio trocável e potássio solúvel em água.

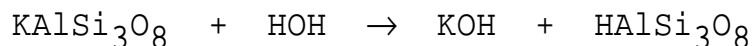
ATTOE e TRUOG (1946), por sua vez, dividiram o potássio do solo nas seguintes categorias, tomando como base, sua utilização pelas plantas: potássio facilmente utilizável, que inclui a forma trocável e a solúvel em água; potássio moderadamente utilizável, onde estão incluídas as formas fixadas e as da biotita; potássio dificilmente utilizável ou formas dos feldspatos e da muscovita.

GARMAN (1957), estudando o assunto sob o aspecto do equilíbrio do potássio no solo, propôs as seguintes formas: potássio estrutural, potássio adsorvido (trocável e não trocável) e potássio solúvel em água.

As formas admitidas na classificação de GARMAN, podem ser caracterizadas como se vê a seguir:

2.1.1, Potássio estrutural

É considerado como potássio estrutural aquela porção do potássio do solo que toma parte na estrutura cristalina dos minerais primários e secundários-feldspatos, micas e ilíticas. Nessa forma o potássio é praticamente insolúvel. No entanto, quando os citados minerais são expostos aos processos de intemperismo físico e químico, durante um período de tempo relativamente longo, decompõem-se, liberando potássio, conforme é ilustrado pela reação abaixo:



O potássio liberado tanto pode ser utilizado pelas plantas como convertido em potássio trocável ou fixado.

GARMAN (1957) considera o potássio estrutural como fonte de "reserva" para manutenção do equilíbrio do potássio do solo.

Os feldspatos mais importantes com fonte natural de potássio - microclina e ortoclásio - são encontrados quase que exclusivamente fazendo parte das frações silte e areia e, muito raramente, da fração argila mais grossa. As micas - biotita e muscovita - também são encontradas fazendo parte das frações silte e areia. De um modo geral, as micas se encontram um pouco alteradas, devido à perda do potássio interlaminar e ao ganho de alguma água de hidratação (Danison, Fry e Gile, citados por BLACK, 1957). Dos minerais secundários, a ilita é o representante mais importante (ABED e DREW, 1960).

Embora o potássio estrutural seja de liberação difícil, foi constatada experimentalmente sua utilização por parte das plantas. Em 1848, Magnus citado por REITEMEIER (1951), cultivou e obteve produção de aveia em solo artificial, contendo como fonte de potássio o feldspato finamente moído. HALEY (1923), também cultivou aveia em solo artificial, tendo como fonte de potássio o feldspato - ortoclásio moído (200 mesh)-, o qual foi capaz de suprir as necessidades de potássio da planta. Observou que 25 g do material quando submetidas à

ação da água destilada, produziram potássio solúvel numa velocidade de 28,28 ppm no ponto de equilíbrio.

A solubilidade do potássio estrutural dos minerais primários depende do tamanho das partículas a que foram reduzidos (REITEMEIER, 1951). A moagem acerreta um aumento considerável da superfície total das partículas e com isto, um aumento do teor de potássio trocável e solúvel em água. Por sua vez, se levada a um alto grau, promove alteração na estrutura cristalina dos minerais.

MERWIN e PEECH (1951), trabalhando com as frações silte, areia e argila isoladamente, constataram que o potássio liberado pela fração areia era insignificante. Por sua vez, a fração silte contribuía com 15 a 51% e a fração argila com 40 a 83% do potássio liberado pelo solo. PRATT (1952), trabalhando com amostras de solos de Iowa, verificou que 40% do potássio liberado do solo pela extração com ácido nítrico normal, fervura por 10 minutos, tinham proveniência nas frações maiores - silte e areia.

2.1.2, Potássio trocável

Por definição, o potássio trocável é aquela porção do potássio total do solo que se encontra adsorvida às partículas coloidais (minerais e orgânicas), podendo ser "trocada" por cátions de soluções salinas neutras (FEIGENPAUN e HAGIN, 1967). Esta é a forma de potássio do solo que tem recebido maiores atenções por parte dos pesquisadores.

ATTOE e TRUOG (1946) estimaram o teor de potássio trocável em 1% do potássio total do solo, correspondente a 90% ou mais do utilizado pelas plantas.

Na prática o potássio trocável corresponde ao extraído do solo por uma solução de acetato de amônio, normal e neutra. Os teores de potássio extraídos de uma mesma amostra de solo podem variar grandemente, em função da natureza e concentração do extrator empregado, da técnica adotada, da relação so-

lo/solução e de duração do processo.

2.1.3, Potássio solúvel em água

KUILE (1952) definiu o potássio solúvel em água como sendo aquela porção do potássio total do solo que se encontra dissolvida na solução deste. Não está sujeito às forças de troca de cátions, sendo, portanto, prontamente assimilável pelas plantas (REITEMEIER, 1951). Embora seja uma forma de potássio facilmente utilizável pelos vegetais, e quantidade existente no solo é insuficiente para suprir as necessidades de qualquer cultura.

Distinguir o potássio solúvel em água das outras formas encontradas no solo é tarefa bastante difícil visto que ele pode ser facilmente alterado por simples diluição. Esta diluição acarreta a hidrólise do potássio trocável e ainda a sua substituição por cátions divalentes, bem como a dissolução dos minerais potássicos (REITEMEIER, 1946).

Dada a pequena quantidade do potássio solúvel em água existente nos solos normais, situação agravada pelos problemas advindos dos processos de extração, ele é determinado juntamente com o potássio trocável.

2.1.4, Potássio não trocável

A incorporação da forma de potássio não trocável às outras já existentes deve-se ao fato de se ter observado experimentalmente que as plantas na maioria das vezes absorviam mais potássio do que o existente no solo nas formas trocável e solúvel em água (HOAGLAND) e MARTIN, 1933); PEECH e BRASFIELD, 1943; POPE e CHENEY, 1952).

KUILE (1952) definiu o potássio não trocável como sendo a porção de potássio do solo que não é extraída por uma simples lixiviação com soluções salinas, podendo, no entanto, ser utilizada pelas plantas num período de tempo relativamente longo. Quimicamente, não existe nenhuma diferença entre esta forma e o potássio trocável.

Além dos aspectos acima mencionados, notou-se que o potássio adicionado ao solo na forma de sais solúveis, muitas vezes não era recuperado pelas plantas, nem tão pouco obtido pelos processos empregados para a extração do potássio trocável.

2.2, Equilíbrio entre as diversas formas de potássio do solo.

A idéia da existência de um equilíbrio entre as diversas formas de potássio do solo originou-se da observação de que o potássio trocável nunca era completamente exaurido, quando se submetia determinado terreno a um cultivo contínuo. Além do mais, foi notado que as plantas na maioria das vezes, absorviam mais potássio do que o existente no solo por ocasião do plantio, nas formas trocável e solúvel em água (BRAY e DeTURK 1939; PEECHE e BRADFIELD; 1943; CHANDLER, PEECHE e CHANG, 1945; STEWART e VOLK, 1946). Como a absorção somente é possível sob essas duas formas conclui-se que há liberação de parte do potássio existente sob outras formas.

HOAGLAND e MARTIN (1933) observaram que nos solos por eles estudados, o potássio trocável adquiria um valor mínimo e constante se submetido a um cultivo contínuo, passando daí por diante a cultura não mais ser viável.

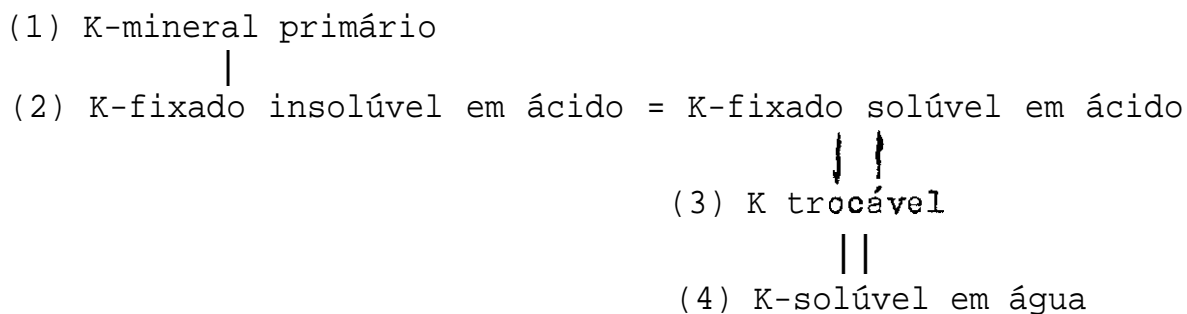
BRAY e DeTURK (1939) verificaram experimentalmente que à medida que o potássio da solução do solo diminuía, novas quantidades eram repostas a partir do potássio trocável. Lançando algumas séries de experimentos, chegaram ainda, a outras constatações. Numa primeira etapa, o potássio trocável das amostras de solo foi extraído e o solo incubado úmido por determinado tempo. Findo o período de incubação, o potássio trocável foi novamente extraído e determinado, concluindo-se daí que o potássio de forma não trocável era liberado para a forma trocável. Em outro experimento, o solo foi incubado sem que o potássio trocável fosse extraído. Após a incubação foi notado que em alguns solos o teor de potássio trocável era superior ao existente no início do experimento, tendo, portanto

o aumento ocorrido, por liberação à custa de outras formas. Por outro lado, em determinadas amostras o teor de potássio trocável era inferior ao inicial tendo, por conseguinte, havido fixação. Finalizando a série de experimentos, o solo foi incubado após a adição de um sal solúvel de potássio, tendo-se verificado fixação total ou parcial do potássio adicionado.

Partindo desses resultados, os autores citados propuseram a seguinte reação de equilíbrio entre as diversas formas de potássio do solo:

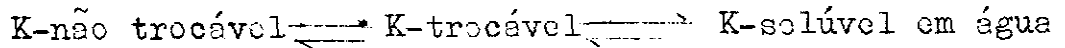
K-mineral K-trocável K-solúvel em água

WOOD e DeTURK (1941) estudando o equilíbrio de potássio no solo, propuseram o seguinte esquema:

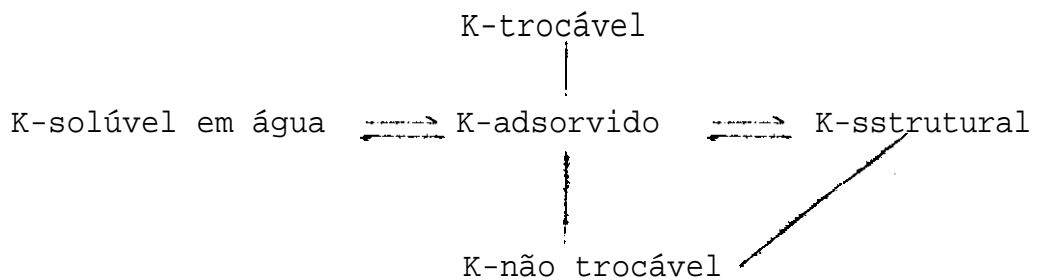


Seguindo o esquema acima, verifica-se que nas condições normais de cultivo, a reação é deslocada no sentido de (1) para (4). Ora, com o cultivo, as plantas absorvem do solo o potássio solúvel em água e o trocável. Para que o equilíbrio seja mantido, faz-se necessária a liberação do potássio da forma fixada (não trocável). Consoante os autores referidos, das formas fixadas, a solúvel em ácido é a mais importante para a manutenção do equilíbrio, bem como para assegurar o poder de suprimento de potássio do solo. Por outro lado, quando um sal solúvel de potássio é adicionado ao solo, a reação é deslocada no sentido de (4) para (1). Convém esclarecer que as maiores variações ocorrem nas formas (2), (3) e (4).

Dada a pequena importância imediata do potássio mineral no sistema geral do equilíbrio PEECH e BRADFIELD (1943) propuseram o esquema abaixo:



GARMAN (1957) revisando trabalhos anteriormente realizadas sobre o equilíbrio do potássio no solo, propôs um esquema mais amplo, o qual, como se pode ver a seguir, dá uma idéia mais geral do fenômeno.



Neste esquema é considerado como potássio adsorvido, aquela porção, que está presa por forças eletrostáticas decorrentes das cargas negativas sobre as partículas coloidais minerais e orgânicas. Esta forma de potássio pode ser substituída por outros cátions sem que a estrutura do mineral seja alterada. A substituição de potássio adsorvido não é total, quando uma solução de acetato de amônia normal e neutra é empregada como extratora. No entanto, quando são usados extratores mais enérgicos como o ácido nítrico, normal, com fervura, quantidades outras de potássio são extraídas, estando incluídos o potássio fortemente adsorvido - potássio não trocável - e uma pequena porção de potássio estrutural.

2.3, Fatores que afetam o equilíbrio do potássio no solo.

No ítem anterior, fizemos referência ao equilíbrio entre as diversas formas de potássio do solo. Embora a existência deste equilíbrio tenha sido comprovada, o seu mecanismo exato é praticamente desconhecido. Por outro lado, é reconhecida a importância de certos fatores que atuam sobre o equilíbrio, entre os quais podem ser destacadas: tipo de colóides presentes, temperatura, umidade e reação do solo.

2.3.1, Tipo de coloide

A fixação do potássio tem lugar principalmente com solos que apresentam um certo teor de montemorilonita, illita e vermiculita (VOLK, 1938; STANFORD, 1948; DeTURK et al., 1948; BARSHAD, 1951). Segundo observações de SCHUFFELEN e Van Der MAREL (1955) a caulinita e montemorilonita somente fixam potássio ligeiramente e assim mesmo quando agitadas ou submetidas a secagem com solução do KCl.

Os colóides orgânicos embora tenham uma alta capacidade de adsorção, não fixam potássio (SCHUFFELEN e Van Der MAREL, 1955). De um modo geral, quando adicionamos matéria orgânica a um solo adubado com potássio, o teor deste elemento decresce, devendo-se isto, a uma assimilação excessiva por parte dos microorganismos.

2.3.2, Secagem e umedecimento

A liberação ou a fixação do potássio devida a secagem do solo ao ar foi largamente observada (ATTOE, 1947; RICHARDS e McLEAN, 1961; JONES et al., 1961). De um modo geral, quando o teor de potássio está acima de um determinado nível crítico ocorre fixação e quando abaixo desse nível existe liberação. ATTOE (1947) verificou que havia fixação do potássio em solos adubados com esse elemento sempre que eram submetidos a secagem depois de conservados úmidos por algum tempo.

Por outro lado, foi constatado que esses solos liberavam potássio quando submetidos ao mesmo tratamento, excluída a adição de potássio.

LUEBS, STANFORD e SCOTT (1958) realizaram secagem gravimétrica de amostras de solo, constatando que havia liberação de potássio à medida que o teor de umidade diminuía. A máxima liberação tinha lugar quando o teor de umidade do solo estava em torno de 5%.

COOK e HUTCHESON (1960) estudando o efeito da secagem sobre a liberação e fixação do potássio, chegaram a evidência de que havia fixação quando os solos se apresentavam úmidos e com mais de 0,5 mE de K^+ por 100 g de solo. Quando o nível de potássio trocável era inferior a 0,5 mE/100 g, havia liberação. O mesmo foi observado por JONES (1961) para os solos de Ohio.

DOWDY e HUTCHESON (1963) estão de acordo com os autores acima citados, embora tenham estabelecido como nível de potássio trocável 0,45 mE/100 g.

2.3.3, Temperatura

O efeito da temperatura sobre o equilíbrio do potássio do solo tem despertado o interesse de muitos investigadores.

LEEG e AXLEY (1958) saturaram amostras de solo com amônia, submetendo-as em seguida a um aquecimento a 500°C por duas horas. Verificaram por este método que o potássio liberado era equivalente ao assimilado durante 1186 dias de cultivo contínuo.

McLEAN e SIMON (1958) observaram que o aquecimento em estufa a 105°C concorria para a liberação do potássio em alguns solos e, em outros, contribuía para a sua fixação. A liberação ou fixação do potássio a 105°C, dependia do nível de potássio trocável original do solo.

Para BURNS e BARBER (1961) a aumentos de temperatura

correspondem, geralmente, aumentos do potássio liberado. BATES (1965) porém, verificou que a temperatura influiu muito pouco sobre a liberação do potássio, quando as amostras de solo eram tratadas com compostos orgânicos, antes da secagem. Constatou, ainda, que quanto mais elevado o ponto de ebulição do composto orgânico, menor era a liberação do potássio. Concluiu, então, que o decréscimo na liberação se devia ao fato de o solo não se tornar completamente seco. O mesmo pesquisador constatou que a liberação do potássio era maior quando o solo era seco em estufa a 110°C de que em autoclave à mesma temperatura, por onde se conclui que a liberação depende da secagem e não da temperatura propriamente dita.

2.4, Poder de suprimento de potássio do solo e métodos para a sua determinação.

Como foi discutido anteriormente, as plantas são capazes de assimilar mais potássio do que o existente no solo sob as formas trocável e solúvel em água - constatação que tem despertado o interesse de muitos pesquisadores, de modo a serem levados a desenvolver métodos de laboratório capazes de estimar a capacidade dos solos em fornecer potássio às plantas, isto é, o poder de suprimento do potássio do solo. Este foi definido como a capacidade do solo em fornecer potássio às plantas oriundo das formas trocável e não trocável (SUTTON e SEAY, 1958).

A primeira tentativa do estudo do poder de suprimento de potássio do solo coube a Hoppkins e Aumer (REITEMEIER, 1951). Referidos pesquisadores trataram o solo com ácido clorídrico $d= 1,115$, submetendo-o a fervura por 10 horas para remover todo o potássio trocável e solúvel em água. Após este tratamento o solo recebeu todos os nutrientes, menos potássio e foi cultivado com trevo durante cinco anos. As plantas oriundas de cada cultivo foram integralmente incorporadas ao solo. A última produção revelou-se igual à obtida com a mesma cultura em solo não tratado. Concluíram, daí, que o solo era capaz de fornecer potássio às plantas sem que fertilizantes potássicos fossem adicionados.

No decorrer do tempo várias outras pesquisas foram realizadas e muitas conclusões obtidas, dentro elas, a de que o poder de suprimento de potássio é variável de um para outro tipo de solo (EVANS e ATTOE, 1948; BRELAND, BERTRAMSON e BORLAND, 1950; PRATT, 1951; ARNOLD e CLOSE, 1961; FEIGENBAUM e HAGIN, 1967).

2.4.1, Cultivo contínuo

O cultivo contínuo do solo é considerado o método básico para a determinação do poder de suprimento do potássio do

solo. Neste método, as quantidades de solo, número de cultivos, tempo de cultivo, densidade de plantas e espécies cultivadas, são muito variáveis, dependendo do critério do pesquisador.

REITEMEIER (1951) estabeleceu os seguintes princípios básicos que regem a liberação do potássio não trocável em solo cultivado:

- a. A capacidade de suprir potássio não trocável de origem nativa difere consideravelmente entre os diferentes tipos de solo;
- b. solos com os mesmos teores de potássio trocável, diferem consideravelmente nas suas reservas de potássio utilizável;
- c. o potássio fixado é geralmente mais utilizável do que o potássio nativo da forma não trocável;
- d. embora a liberação possa ocorrer em solos que apresentam nível de potássio trocável relativamente alto, é mais provável sua ocorrência quando esse nível é baixo, evitando, assim drástica redução de vigor nas plantas;
- e. o teor de potássio trocável inicial não constitui bom índice do suprimento de reserva, a não ser que represente o nível de equilíbrio para determinado solo;
- f. quando o solo é cultivado intensivamente por um determinado tempo, o nível de potássio trocável se reduz a um valor mínimo e constante e toda a liberação subsequente se verifica a partir desse nível;
- g. no mesmo período do tempo as plantas absorvem mais potássio de reserva do que o liberado para a forma trocável, quando o solo é conservado úmido;
- h. a liberação do potássio em solos ácidos é geralmente aumentada pela calagem.

2.4.2, Método de Neubauer

O método de Neubauer tem sido largamente empregado para a avaliação do potássio utilizável pelas plantas (REITEMEIER et al. 1948 e 1950; HOAGLAND e MARTIN, 1951; BISHOP, MacLEAN e LUTWICK, 1954; GILLINGHAN, 1965).

Os teores de potássio removidos pelos "seedlings" -são muito variáveis. HOAGLAND e MARTIN (1951) verificaram que o potássio absorvido pelos "seedlings" era 2,5 vezes maior do que o potássio extraído pelo acetato de amônio normal, neutro. Por outro lado, GILLINGHAN (1965) constatou que as plantinhas só retiravam parte do potássio trocável. BISHOP, MacLEAN e LUTWICK (1954) encontraram boa correlação entre o método de Neubauer e o método do cultivo contínuo.

2.4.3, Extração com ácidos fortes

O método considerado padrão para a determinação do poder de suprimento do potássio é aquele em que o solo é cultivado intensivamente até completa exaustão do potássio pelas plantas. Por se tratar de um método que demanda muito tempo, não se presta para os trabalhos de rotina. Para contornar essa desvantagem do método padrão, os pesquisadores propuseram vários métodos químicos empregando ácidos fortes.

FRAPS (1929) empregou como extrator do potássio não trocável o HCl d= 1,115 com digestão por 10 horas, encontrando boa correlação entre o método proposto e o método padrão. JOFFE e LEVINE (1946) observaram que o potássio não trocável não era extraído com HCl 0,1 N a quente, podendo no entanto, ser extraído com o mesmo ácido N/l. AYRES (1949) trabalhando com solos do Havaí, extraiu o potássio não trocável tratando o solo com HCl 0,5 N, 1,0 N, 2,0 N, 3,0 N e 4,0 N a quente, tendo observado que nas concentrações mais elevadas era maior a quantidade de potássio extraída. Por outro lado, concluiu que o teor de potássio extraído com ácido 1,0N apresentava correlação

mais estreita com o potássio extraído pelas plantas, quando o solo era cultivado intensivamente.

HUNTER e PRATT (1957) extraíram o potássio solúvel em ácido, empregando o ácido sulfúrico 1,38 N, 6,0 N e 13,8 N, tendo encontrado correlação estreita entre o potássio extraído pelo ácido sulfúrico 1,38 N e 13,8 N e o extraído pelo cultivo contínuo do solo.

Um método largamente empregado para a determinação do poder de suprimento de potássio do solo é aquele preconizado por WOOD e DeTURK (1940). O solo é tratado com ácido nítrico N/1, na proporção de 1:10 solo:ácido, com fervura por dez minutos para caracterização do potássio solúvel em ácido. Posteriormente ROUSE e BERTRAMSON (1950), PRATT (1951), SCHMITZ e PRATT (1953), GREISSINGBR e FEFRIES (1957), WEBER e CALDWELL (1965) fizeram uso do método acima, tendo encontrado boas correlações entre o potássio extraído pelo ácido nítrico N/1 e o extraído pelo cultivo contínuo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1, Solo

No presente trabalho foram utilizadas amostras de vinte unidades de solo representativas da Zona Fisiográfica de Baturité, coletadas em agosto de 1968. A amostragem foi feita sobre a camada superficial (0 - 20 cm) e sempre nas proximidades do perfil modal de cada unidade, acondicionando-se o material obtido em recipientes à prova de umidade a fim de mantê-la com o mesmo grau de umidade com que foi coletado.

No laboratório as amostras foram homogeneizadas, tamizadas e novamente acondicionadas em recipientes à prova de umidade, com a finalidade acima descrita e posterior utilização nos ensaios em vasos, método de Neubauer e extração do potássio trocável e não trocável por métodos químicos.

As unidades de solo estudadas foram agrupadas segundo a percentagem de argila total, devido ao fato desta fração mecânica do solo contribuir com a maior porção do potássio liberado (MERWIN e PEECH, 1951).

Na tabela 1 podem ser observados os dados relativos à formação geológica, formação litológica e classificação das unidades estudadas (INCLAN e COELHO, 1967). Os dados referentes às características físicas e químicas dos solos são vistos na tabela 2 e foram determinados em terra fina seca ao ar,

Tabela 1

Formação geológica, litológica e classificação das 20 unidades de solo da zona fisiográfica de Baturité +				
Nº de solo	Unidade de solo	Formação Geológica	Formação litológica	Classificação
01	Regina	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. pesada
02	Guaramiranga	Precambriano	Quartzito	B textural eutrófico text. pesada
03	Mulungu	Precambriano	Quartzito	B textural eutrófico text. pesada
04	Baturité	Precambriano	Quartzito	B textural eutrófico text. pesada
05	Pacoti	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. pesada
06	Amanarí	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. média
07	Maranguape	Precambriano	Gnaisses	
08	Jurema	Precambriano	Gnaisses/granito	B textural eutrófico text. pesada
09	Palmácia	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. pesada
10	Bom Jardim	Terciário	Sed.Arg.Aren.Barreiras	B textural distrófico text. média
11	Siqueira	Terciário	Sed.Arg.Aren.Barreiras	B textural distrófico text. média
12	Cajueiro	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. média
13	Aluvião do Choró	Quaternário	Sed.Arg.Arenoso	Aluvio
14	Araceiaba	Precambriano	Quartzito	B textural eutrófico text. pesada
15	Ocara	Terciário	Sed.Arg.Are.Barreiras	B textural distrófico text. média
16	Jaçanaú	Terciário	Sed.Arg.Are.Barreiras	B textural distrófico text. média
17	Água Verde	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. pesada
18	Chorozinho	Terciário	Sed.Arg.Are.Barreiras	Areias vermelho amarelas
19	Caio Prado	Precambriano	Gnaisses	B textural eutrófico text. pesada
20	Itapiuna	Precambriano	Gnaisses	Solos pouco desenvolvidos

+ INCLAN e COELHO (1967)

Tabela 2

Características físicas das 20 unidades de solo da Zona Fisiográfica de Baturité

Nº Solo	Dens. Real	%Arcia Grossa	%Arcia Fina	% Silte	%Argila Total	%Argila Natural	%Umid. a 1/3 atm	%Equivalente de Umidade
01	2,52	37,33	19,81	13,66	29,20	15,39	18,26	18,14
02	2,43	45,80	19,92	7,16	27,12	12,73	15,46	16,18
03	2,53	36,43	24,50	12,54	26,53	10,79	19,08	19,23
04	2,47	31,71	29,37	13,40	25,52	13,11	17,19	17,39
05	2,43	33,60	24,45	18,89	23,06	11,56	20,51	20,57
06	2,52	27,89	36,82	13,18	22,11	12,52	18,81	17,95
07	2,44	38,89	28,95	11,65	20,51	8,53	13,82	14,12
08	2,48	40,49	30,80	11,15	17,56	9,36	11,32	12,43
09	2,50	55,26	18,41	9,61	16,72	5,95	11,73	14,19
10	2,52	40,31	10,37	4,55	15,77	5,44	6,75	8,54
11	2,52	43,93	31,93	4,47	13,67	4,75	7,48	6,93
12	2,45	36,44	36,93	13,47	13,11	6,74	13,19	13,75
13	2,43	3,79	73,59	14,18	12,23	6,56	12,92	13,16
14	2,55	56,64	27,53	3,10	10,73	3,46	4,52	4,90
15	2,56	61,43	25,98	2,31	10,28	1,99	4,05	4,38
16	2,56	59,33	28,50	4,06	8,11	2,14	5,78	4,72
17	2,55	53,61	35,57	3,79	7,03	1,29	6,21	5,65
18	2,53	74,73	19,44	-	5,83	0,73	1,91	2,11
19	2,56	49,02	39,62	6,37	4,99	1,48	5,32	4,62
20	2,53	60,48	32,86	2,10	4,56	0,58	1,78	2,28

Tabcla 3

Características químicas das 20 unidades de solo da zona fisiográfica de Baturité

Nº SOLO	mE por 100 gramas de solo								V(%)	N %	C %	M.O. %	C/E	P mg/100g
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	S	T						
01	3,47	1,35	0,37	0,12	3,23	0,13	5,31	8,67	61,24	0,095	1,98	3,41	21	0,17
02	0,32	0,36	0,17	0,09	6,83	1,61	0,94	9,38	10,02	0,107	1,69	2,91	16	0,33
03	2,11	1,42	0,47	0,13	4,83	0,25	4,13	9,21	44,84	0,145	1,64	2,84	11	0,35
04	3,64	0,96	0,37	0,14	2,57	0,11	5,11	7,79	65,59	0,196	1,36	2,34	7	0,50
05	1,33	0,89	0,54	0,11	4,43	0,44	2,87	7,74	37,08	0,123	1,48	2,55	12	0,82
06	4,33	3,25	0,36	0,25	3,41	0,13	8,19	11,73	69,82	0,095	1,32	2,27	14	0,07
07	1,87	2,48	0,19	0,16	4,08	0,44	4,70	9,22	50,97	0,113	1,20	2,07	11	0,71
08	2,50	0,73	0,30	0,11	3,05	0,26	3,64	6,95	52,37	0,087	0,98	1,69	11	0,24
09	3,32	1,86	0,44	0,15	2,53	0,08	5,77	8,38	68,85	0,147	1,74	3,00	12	0,34
10	1,89	0,32	0,17	0,08	1,69	0,04	2,46	4,19	53,71	0,069	0,65	1,12	9	0,29
11	0,76	0,08	0,26	0,22	1,69	0,34	1,32	3,35	39,40	0,058	0,51	0,88	9	0,71
12	1,94	1,13	0,32	0,11	3,38	0,49	3,50	7,37	47,48	0,087	1,08	1,86	12	0,35
13	3,64	1,62	0,42	0,12	1,01	-	5,86	6,81	85,16	0,051	0,53	0,91	10	0,50
14	0,72	0,12	0,09	0,08	1,17	0,11	1,01	2,29	44,10	0,037	0,26	0,45	7	0,19
15	0,80	0,16	0,11	0,11	1,02	0,25	1,18	2,45	48,16	0,060	0,41	0,71	7	0,24
16	0,72	0,16	0,12	0,11	1,51	0,25	1,11	2,87	38,67	0,047	0,45	0,78	10	0,23
17	1,21	0,48	0,11	0,14	1,35	0,21	1,94	3,50	55,42	0,100	0,86	1,48	9	0,48
18	0,80	0,08	0,06	0,07	0,83	0,15	1,01	1,99	50,75	0,030	0,24	0,41	8	0,08
19	1,00	0,28	0,09	0,07	0,69	0,11	1,44	2,24	64,28	0,044	0,41	0,71	9	0,46
20	0,40	0,32	0,14	0,12	0,69	0,15	0,98	1,82	53,84	0,016	0,35	0,60	22	0,67

Continuação da Tabela 3

Nº SOLO	pH		C.E. mmhos/cm	Ataque por ácido sulfúrico d = 1,47				Ki	Kr
	água	KCl		%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%P ₂ O ₅		
01	5,00	4,75	0,30	12,71	9,11	3,94	0,03	2,35	1,86
02	4,80	3,90	0,45	9,87	8,07	1,61	0,02	2,07	1,85
03	5,85	4,60	1,00	6,61	7,93	2,63	0,05	1,41	1,17
04	6,25	5,15	0,90	8,38	7,39	3,36	0,05	1,90	1,49
05	5,30	4,20	1,30	11,48	9,02	4,26	0,06	2,15	1,66
06	6,00	4,65	0,15	13,64	7,89	5,57	0,05	2,91	2,03
07	5,35	4,00	0,25	9,36	4,79	3,29	0,05	3,48	2,43
08	5,70	4,55	0,35	7,89	5,49	2,97	0,03	2,43	1,82
09	6,20	5,10	2,20	6,80	4,32	1,73	0,03	2,65	2,13
10	6,10	4,80	0,35	6,55	4,70	0,74	0,02	2,35	2,15
11	4,80	4,30	1,00	5,49	3,89	0,81	0,01	2,33	2,08
12	5,45	4,10	0,30	7,89	4,16	2,99	0,04	3,20	2,15
13	6,50	5,20	0,20	7,36	3,11	3,17	0,03	3,98	2,44
14	5,90	4,50	0,20	3,85	2,84	0,81	0,01	2,28	1,95
15	5,70	4,35	0,20	3,89	2,58	0,36	0,02	2,55	2,34
16	4,80	4,30	0,70	3,32	2,17	0,53	0,02	2,56	2,25
17	6,10	4,45	0,25	2,85	1,28	1,19	0,03	3,76	2,37
18	6,00	4,90	0,30	2,95	1,28	0,24	0,015	3,89	3,51
19	6,25	4,80	0,15	2,38	1,28	0,46	0,02	3,12	2,53
20	5,85	4,40	0,35	0,98	0,51	2,92	0,02	3,25	0,70

obedecendo a seguinte metodologia:

Análise mecânica - método da pipeta usando-se como agente de dispersão solução N/l do NaOH;

Argila natural - método da pipeta, usando como agente de dispersão água destilada;

Capacidade de campo - determinação da umidade a 1/3 de atm., em placa porosa;

Equivalente de umidade - determinação da umidade em centrífuga a 2.440 rpm;

Densidade real - determinação em balão aferido de 50 ml empregando-se álcool metílico;

Nitrogênio total - digestão pelo ácido sulfúrico concentrado e titulação com solução de NaOH 0,04 N (CATANI, GALLO e GARGANTINI, 1955);

Fósforo assimilável - extração pelo fluoreto de amônio 0,03 N e Hcl 0,025 N, usando-se como redutor o ácido ascórbico (VETTORI, 1969);

Carbono orgânico - determinação por oxidação com dicromato de potássio 0,4 N e titulação do excesso de oxidante com solução de sulfato ferroso amoniaco 0,1 N (VETTORI, 1969);

pH em água e em KCl N/l - determinado em suspensão 1 : 2,5 (JACKSON, 1958);

Cálcio e magnésio trocáveis - extraídos pelo acetato de amônio normal pH 7,0 e titulação com EDTA (GLÓRIA, CATANI e MATUO, 1964);

Potássio e sódio trocáveis - extração pelo acetato de amônio normal pH 7,0 e o extrato levado diretamente ao fotômetro de chama (VETTORI, 1969).

Hidrogênio trocável - extração pelo acetato de cálcio normal pH 7,0 (VETTORI, 1969);

Alumínio trocável - extração pelo KCl N/l (VETTORI, 1969);

Sílica, alumina, ferro e fósforo totais - determinados em terra fina seca ao ar, após ataque com ácido sulfúrico $d = 1,47$ (VETTORI, 1969);

Condutividade elétrica - determinada no extrato de saturação (USDA, 1954).

3.2, Cultivo contínuo do solo

O Cultivo contínuo do solo foi realizado em potes de plástico, tendo o milho (*Zea mays* L. variedade "Azteca") como planta indicadora. Aos potes adicionou-se solo úmido equivalente a 600,0 gramas de solo seco a 105°C, procedendo-se em seguida a adição de carbonato de cálcio calculado para elevar o pH próximo a neutralidade. Após 15 dias de incubação com carbonato foi realizada a semeadura de 6 sementes de milho por pote. A adubação foi feita após a semeadura, empregando-se solução nutritiva, do modo a fornecer ao solo 115 ppm de N, 155 ppm de P₂O₅, 3 ppm de magnésio, 5 ppm de ferro, 8 ppm de cobre, 1,5 ppm de zinco, 3,5 ppm de manganês e 0,2 ppm de molibdênio. A seguir, procedeu-se a irrigação em cada vaso, adicionando-se água desmineralizada para manter o solo em condições ótimas de umidade para o desenvolvimento das plantas. A cada vaso adicionou-se uma camada de areia de quartzo pura com a finalidade de manter a superfície do solo sempre úmida e conferir a todos os vasos o mesmo peso os vasos assim preparados, em número de 80 (4 repetições para cada unidade de solo) foram levados para a casa de vegetação e dispostos em 4 blocos distintos (fig. 1). Diariamente procedeu-se a irrigação dos potes com água desmineralizada de acordo com as necessidades.

As plantinhas foram cultivadas por 60 dias após o que procedeu-se o corte da parte aérea para determinação do potássio absorvido.

Os vasos foram submetidos a 4 cultivos sucessivos, obedecendo os mesmos cuidados indicados para o primeiro, encerrando-se a pesquisa quando as plantas não mais conseguiram se desenvolver por carência de potássio. Nitrogênio e fósforo foram adicionados aos vasos sempre que sintomas de defi-

ciência desses elementos eram observados.

O material colhido, depois de seco em estufa, foi moído em moinho tipo Wiley, procedendo-se a seguir a dosagem do potássio seguindo a metodologia abaixo:

Deposição de 250 mg de material moído em balões de Kjeldahl de 30 ml, seguido de digestão com 2,0 ml de ácido nítrico concentrado. Após a digestão com ácido nítrico os balões foram resfriados e 0,5 ml de ácido perclórico concentrado foram adicionados, continuando-se a digestão a temperatura mais elevada. O digerido foi transferido para balão volumétrico de 50 ml, completando-se o volume com água desmineralizada. Foram tomadas alíquotas e o potássio determinado, usando-se fotômetro de chama Coleman modelo 21. A calibração do instrumento foi feita com soluções padrões com a mesma concentração de ácido existente no extrato de plantas.

3.3, Método de Neubauer

A determinação do potássio do solo pelo método de Neubauer, seguiu, no presente trabalho, as modificações sugeridas por CATANI e BERGAMIN (1961) e GILLINGHAN (1965). Em cristalizadores do vidro de 125 mm de diâmetro por 65 mm de altura, depositou-se uma mistura constituída de 100 g de solo (solo úmido equivalente a 100 g de solo seco a 105°C) e 100 g de areia de quartzo pura e lavada. Sobre essa mistura foram espalhadas 100 g de areia. Sobre a camada de areia foram semeadas uniformemente 100 sementes de arroz (*Oriza sativa*, L. variedade "Matão") que em seguida foram cobertas com 150 g de areia. Aos vasos assim preparados adicionou-se 80 g de água desmineralizado, exceto os "brancos" que receberam apenas 60 g. Após a adição de água, todos os cristalizadores foram pesados e a tara completada diariamente pela adição de novas quantidades de água. Foram feitas 3 repetições para cada unidade de solo, inclusive para os "brancos". Dada a pouca luminosidade existente no laboratório, os cristalizadores foram postos sob iluminação artificial, constituída de 2 lâm-

padas fluorescentes do 40 Watts e 3 lâmpadas incandescentes de 100 Watts, durante 10 horas cada dia (fig. 2).

As sementes germinaram 4 dias após a semeadura e as plantinhas foram cultivadas por 18 dias, sendo então arrancadas, as raízes lavadas com água e, colmos e raízes foram postos em estufa a 70-75°C até peso constante.

O material seco foi levado ao forno em "beakers", incinerando-se a 550°C durante 60 minutos. As cinzas foram tratadas com 5 ml de HCl (1:1) e levadas a secar em banho-maria, sendo em seguida tratadas com 10 ml de HCl (1:9). A solução foi filtrada para balão volumétrico de 100 ml, completando-se o volume com água desmineralizada. Do balão de 100 ml foram transferidos 5 ml para copos do 100 ml e neutralizados com NH_4OH (1:1) sendo posteriormente aquecidos a ebulição e filtrados para balões volumétricos de 100 ml, completando-se o volume com água. Foram tomadas alíquotas para dosagem do potássio por fotometria de chama, empregando-se fotômetro de chama Coleman modelo 21.

O potássio extraído pelas plantas foi calculado subtraindo-se o potássio extraído pelas plantas cultivadas em areia do potássio extraído pelas plantas cultivadas na mistura solo areia.

3.4, Extração do potássio com acetato de amônio normal, pH 7,0

A extração do potássio trocável do solo com acetato de amônio normal pH 7,0 foi realizada em solo úmido antes e após o cultivo.

No solo cultivado, cada uma das repetições de cada unidade foram homogeneizadas e tamizadas separadamente.

10 g de amostra de solo (cultivado e não cultivado) foram transferidas para balões de Erlenmeyers de 250 ml e agitadas por 15 minutos com 100 ml de acetato de amônio normal pH 7,0. O extrato foi filtrado e deste foram tomadas alíquotas para determinação do potássio por fotometria de chama, empregando fotômetro de chama Coleman modelo 21. Os padrões

para calibração do instrumento foram preparados do modo a apresentarem a mesma concentração de acetato daquela do extrato de solo. Os resultados obtidos foram corrigidos para solo seco a 105°C.

3.5, Extração do potássio com ácido sulfúrico (método 1, HUNTER e PRATT, 1957)

10 g de solo úmido foram transferidas para copos de 100 ml aos quais adicionou-se exatamente 25 ml de água desmineralizada, seguindo-se de agitação vigorosa. 1 ml do ácido sulfúrico concentrado foi adicionado a cada copo e o conteúdo dos mesmos novamente agitado, deixando-se em repouso por 30 minutos, após o que procedeu-se a filtração para balões volumétricos de 100 ml. O solo no filtro foi lavado com porções de 15 ml de ácido sulfúrico 0,1 N até completar o volume dos balões. Do filtrado foram tomadas alíquotas para dosagem do potássio por fotometria de chama, empregando-se fotômetro de chama Coleman modelo 21. Os padrões para calibração do instrumento foram preparados de modo a apresentarem concentração de ácido semelhante a do extrato do solo. Os resultados foram expressos na base do solo seco a 105°C.

3.6, Extração de potássio com ácido nítrico normal

2,5 g de solo úmido e 25 ml de ácido nítrico N/1 foram transferidos para frascos de Erlenmeyer de 125 ml. O conteúdo dos frascos foi agitado levemente e levado a fervura branda por 10 minutos. Em seguida procedeu-se a filtração para balões volumétricos de 100 ml, lavando-se o solo no filtro com 4 porções do 15 ml do ácido nítrico 0,1 N. Após resfriamento completo do extrato completou-se o volume com ácido nítrico 0,1 N. O potássio foi dosado por fotometria de chama, empregando-se para tal, fotômetro de chama Coleman modelo 21. Os padrões para calibração do instrumento foram preparados de modo a apresentarem concentração do ácido semelhante a do extrato do solo.

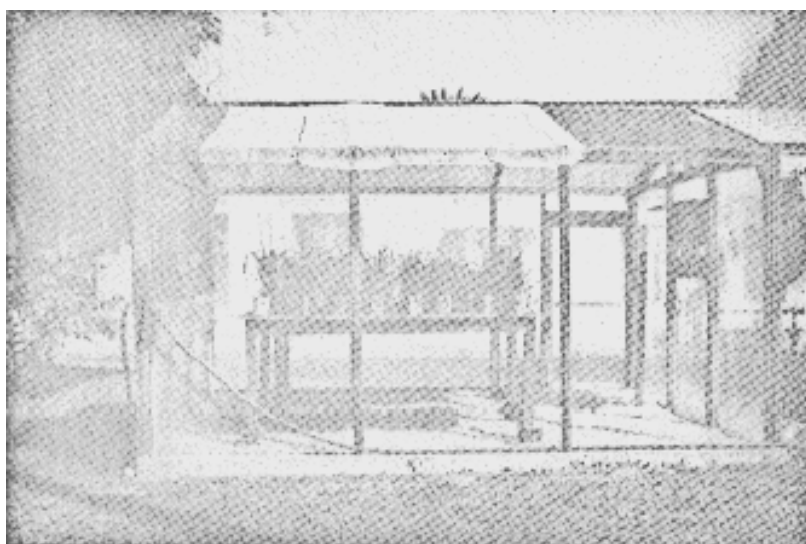


Fig. 1.- Casa de vegetação mostrando os vasos onde os solos foram submetidos ao cultivo contínuo durante 240 dias.

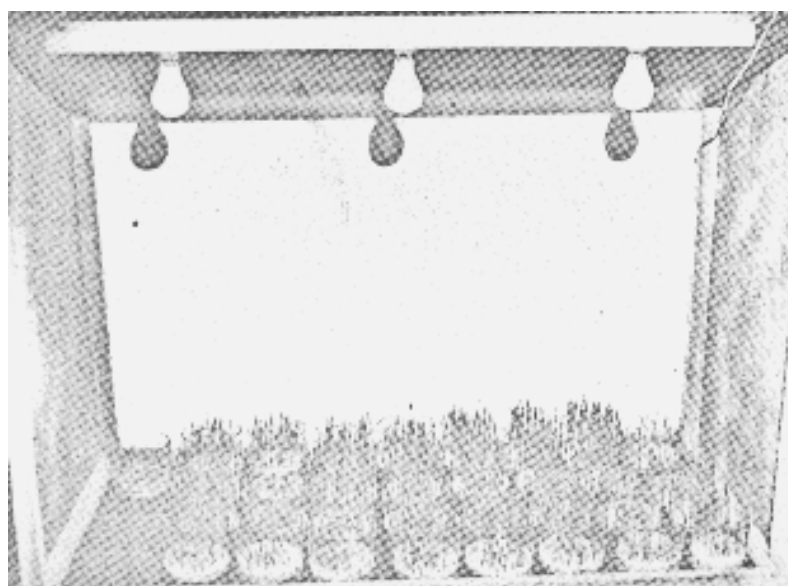


Fig. 2.- Cultivo em vasos onde os solos foram submetidos a extração do potássio pelo método de Neubauer.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de potássio extraídos do solo pelos diversos métodos de extração empregados, variaram grandemente de uma para outra unidade de solo. Esta variação, contudo, era esperada por se tratarem de materiais heterogêneos no que concerne à formação geológica e litológica e ainda no que respeita à composição física e química. De um modo geral altos teores de potássio foram extraídos de solos originados de gnaisses e com percentagens de silte e de argila elevadas.

4.1, Cultivo contínuo

O cultivo contínuo e prolongado do solo sendo um método essencialmente biológico, se presta muito bem para a avaliação das disponibilidades dos nutrientes utilizados pelas plantas. No estudo das disponibilidades de potássio do solo, o método em questão tem sido largamente empregado. Vale salientar que as exigências de potássio não são as mesmas para todas culturas. Assim sendo, torna-se difícil a interpretação dos resultados obtidos e sua extrapolação para experimentos de campo.

No presente estudo, conduzido em casa de vegetação, os solos, foram submetidos durante 240 dias a quatro cultivos sucessivos, e, já a partir do primeiro, sintomas visuais

de deficiência de potássio foram observados na maioria das plantas. No segundo cultivo a carência tornou-se mais acentuada sendo que, a partir do terceiro, não mais foi possível o desenvolvimento das plantas nos solos de números 14, 15, 16, 18 e 20. O mesmo aconteceu com os solos de números 10, 11, 17 e 19 no quarto cultivo. Nos solos restantes as plantas apresentaram pouco desenvolvimento vegetativo e severos sintomas de deficiência de potássio em vista do que se decidiu encerrar os testes.

A Tabela 4 mostra para cada unidade de solo estudada os teores de potássio total removido dos solos pelas plantas durante o cultivo contínuo, o poder de suprimento de potássio, ou seja, o potássio não trocável liberado, o potássio trocável extraído do solo antes do cultivo (potássio trocável original) o potássio trocável extraído do solo após o cultivo e o decréscimo ocorrido na forma trocável por efeito do cultivo.

O potássio total assimilado pelas plantas apresentou um valor médio de 847 kg/ha com valores extremos de 174 e 2.079. A percentagem média do potássio total assimilado sobre o potássio trocável original foi de 328%.

O coeficiente de correlação entre o potássio total assimilado (coluna E) e o potássio trocável original (coluna B) é da ordem de $r = 0,847$ e dignificativo ao nível de 0,01 de probabilidades. A equação de regressão $\hat{y} = -31,850 + 3,419X$, ilustrada pela figura 3, permite estimar o potássio assimilado pelas plantas a partir do potássio trocável original extraído pelo acetato de amônio N/1, pH 7,0. Substituindo-se na equação referida, valores de coluna B (X) verifica-se que os valores de \hat{Y} estimados podem discrepar em até 58% dos valores correspondentes (Y observados) na coluna E. Em termos médios, isto é, quando se substitui na equação o valor médio dos X o desvio entre o \hat{Y} estimado e a média dos Y observados não chega a ser 1%.

O decréscimo verificado no teor médio de potássio

Tabela 4

Potássio trocável antes e após o cultivo*, decréscimo na forma trocável, potássio removido pelo cultivo e o liberado da forma não trocável.

Unidades de Solo (A)	K. T R O C Á V E L			K Removido pelo cultivo (E)	K liberado *** de forma não trocável (F)
	Antes do cultivo (B)	Após o cultivo (C)	Decréscimo devido ao cultivo (D)		
	kg/ha **	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
01	411	69	342	1186	845
02	160	61	99	503	404
03	463	46	417	1288	871
04	404	71	332	1178	846
05	534	57	477	1380	903
06	362	127	235	2079	1844
07	180	61	119	799	680
08	307	52	256	1073	822
09	436	47	389	1278	889
10	182	36	145	490	345
11	275	68	207	463	256
12	336	71	265	1693	1427
13	397	62	335	1819	1484
14	87	40	48	243	196
15	94	55	58	239	181
16	124	58	67	238	179
17	118	60	58	308	250
18	66	51	15	174	159
19	81	49	32	269	237
20	127	54	74	243	170

** Calculado na base de 2.600 toneladas de solo por ha .

* 240 dias de cultivo.

*** K liberado da forma não trocável representa o poder de suprimento de potássio do solo.

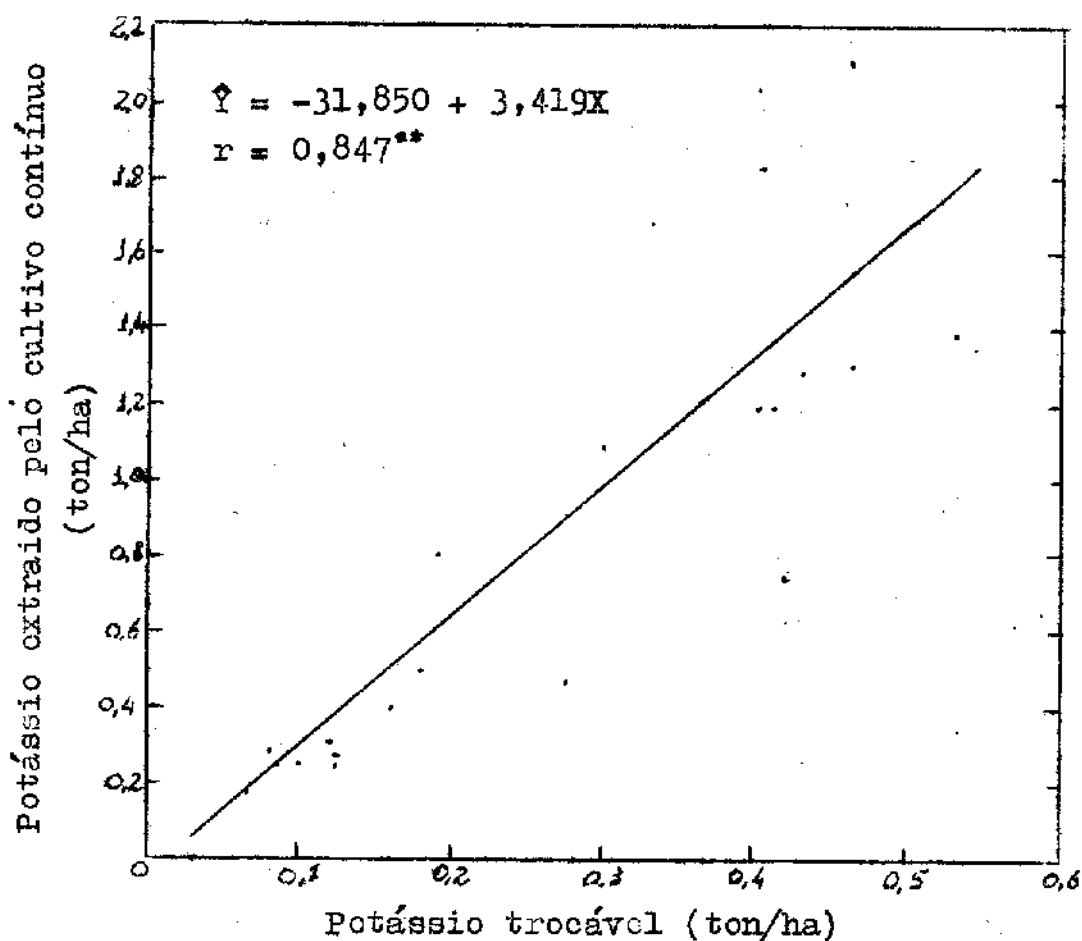


Fig. 3.- Relação entre o potássio extraído pelo cultivo contínuo e o potássio trocável

por efeito dos cultivos foi 198 kg/ha. Verifica-se pela observação da Tabela 4 que os solos com baixo teor de potássio trocável (entre 66 e 127) são também os que apresentam menor decréscimo, menor quantidade de potássio total removido pelo cultivo e menor poder de suprimento. Entre esses, os de números 17, 18 e 19 apresentaram decréscimos inferiores ao potássio trocável determinado após o cultivo, evidenciando uma baixa capacidade de ceder potássio às plantas.

4.2, Método de Neubauer

Os teores de potássio removidos do solo pelo método de Neubauer variaram de 1 a 568 kg/ha, com uma média de 226.

O potássio removido pelos "seedlings" foi na maioria dos solos estudados, inferior ao extraído pelo acetado de amônio N/1, pH 7,0, variando em percentual deste de 1,5 a 180 com uma média de 90%. O coeficiente de correlação entre o potássio extraído pelo método de Neubauer e o potássio trocável (colunas C e D Tabela 4) é da ordem de 0,765, significativo ao nível de 0,01 de probabilidades. Esta relação é ilustrada pela figura 4.

GILLINGHAN (1965) supõe que a remoção apenas parcial do potássio trocável pelos "seedlings" seja devida a uma deficiência de nitrogênio e/ou fósforo. Dados da Tabela 3 apresentam todavia, algumas discrepâncias com relação a tal hipótese. Os solos dos números 7, 10, 12, 13 e 20, os únicos nos quais o potássio removido pelo método de Neubauer foi superior ao extraído pelo acetato de amônio apresentaram teores de nitrogênio total e do fósforo assimilável inferiores ao solo número 5 em que a percentagem de potássio extraída pelo "seedlings" foi de apenas 77,9% do potássio trocável. Vários outros solos com teores de nitrogênio total superiores aos dos acima citados apresentaram assimilação pelo método de Neubauer inferior ao potássio trocável. Contudo verificou-se quase sempre que, quando isto acontecia o

Tabela 5

Potássio extraído do solo por dois métodos biológicos e três métodos químicos e o potássio não trocável liberado pelo ácido nítrico

Unidades de solo	K extraído** pelo cultivo contínuo	K extraído pelo método de Neubauer	K extraído pelo acetato de amônio N/1, pH 7,0	K extraído pelo H_2SO_4 (método 1, HUNTLER e PRATT)	K extraído pelo HNO_3 N/1, com fervura	K liberado pelo HNO_3 ***
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
	kg/ha *	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
01	1186	189	411	448	1817	1403
02	503	84	160	188	456	296
03	1288	388	463	495	3916	3453
04	1178	216	404	442	1462	1058
05	1380	416	534	562	1438	904
06	2079	331	362	382	7229	6867
07	799	324	180	191	2799	2619
08	1078	264	307	328	3084	2777
09	1278	324	436	441	1183	747
10	490	183	182	177	312	130
11	463	162	275	254	402	127
12	1693	557	337	388	3394	3057
13	1819	568	397	454	1940	1543
14	243	61	87	82	247	160
15	239	88	113	103	205	92
16	238	98	124	214	216	92
17	308	61	118	128	821	703
18	174	1	66	56	102	36
19	269	71	81	81	754	673
20	243	139	127	117	204	73
média	847	226	258	276	1599	1431

* Calculado na base de 2.600 toneladas de solo por ha .

** 4 cultivos com milho durante 240 dias

*** K extraído pelo HNO_3 - K trocável.

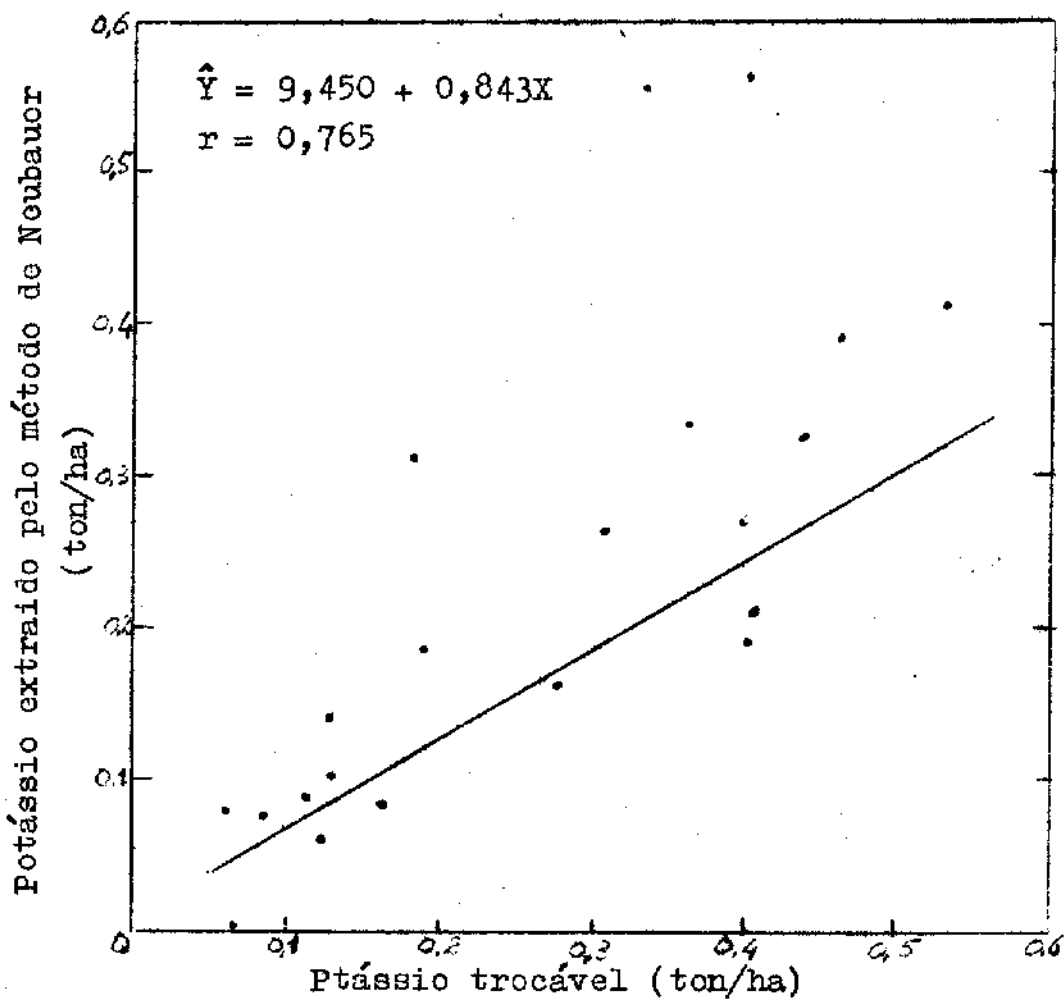


Fig. 4.- Relação entre o potássio extraído pelo método de Neubauer e o potássio trocável.

solo era possuidor de baixo teor de fósforo utilizável. No solo de número 20 cujos teores de nitrogênio total e de fósforo assimilável são respectivamente 0,016% e 6,7 ppm, portanto muito baixos a observação também não se coaduna com a hipótese de Gillinghan. Tais fatos, embora não nos pareçam suficientes para contradizer o referido autor, mesmo porque utilizamos em nosso trabalho o arroz como planta indicadora e Gillinghan o centeio, sugerem que a capacidade dos "seedlings" em assimilar potássio não trocável em certos solos e em outros não, é um fenômeno aleatório.

4.3, Extração com ácidos fortes

Os teores de potássio extraídos dos solos pelo ácido nítrico N/1, com fervura por 10 minutos e pelo ácido sulfúrico (métodos 1, HUNTER e PRATT, 1957), variaram grandemente de uma para outra unidade de solo. Os dados da Tabela 5 (colunas E e F), mostram que as quantidades de potássio extraídas pelo ácido nítrico foram sempre muito superiores às extraídas pelo ácido sulfúrico em todos os solos estudados. Como ácidos fortes, e assim, altamente dissociáveis em água seria presumível que ambos, quando da dissociação, fornecessem íons H^+ em quantidades suficiente para deslocar os íons K^+ adsorvidos aos coloides do solo. A diferença observada na capacidade de extrair potássio do solo, evidenciada pelos dados acima mencionados, pode ser atribuída à energia disponível por ocasião da extração de vez que, quando do emprego do ácido nítrico a extração teve lugar em presença de aquecimento externo suficiente para manter a suspensão de solo em ebulição. No método preconizado por Hunter e Pratt o único aquecimento presente é decorrente da reação exotérmica devido à adição de 1,0 ml de ácido sulfúrico concentrado sobre a suspensão de solo. Em média a eficiência do ácido nítrico relativamente ao método do Hunter e Pratt foi, no presente trabalho, de 578%.

GARMAN (1957), atribui a grande eficiência do ácido

nítrico como extrator do potássio ao fato de que, possivelmente, este ácido promove a destruição de alguns minerais silicatados o que concorre para a liberação do elemento em questão.

A relação entre os dois métodos é definida pelo coeficiente de correlação $r = 0,524$, significativo ao nível de 0,05 de probabilidades e ilustrada pelo gráfico da figura 5. Embora não seja uma associação muito estreita é válida quando se trata da verificação de exatidão dos valores obtidos por qualquer dos métodos.

Ainda com relação aos dados em discussão, se analisados tendo-se como termo de comparação o potássio trocável (Coluna D), observamos que este, em média é 6,2 vezes menor do que o potássio extraído pelo ácido nítrico e aproximadamente igual ao extraído pelo ácido sulfúrico. A relação encontrada entre o potássio extraído pelo ácido nítrico e o potássio trocável está representada pelo coeficiente de correlação $r = 0,521$, significativo ao nível do 0,05 de probabilidade e ilustrada pelo gráfico da figura 6. Por sua vez, o potássio trocável está estreitamente relacionado com o potássio extraído pelo ácido sulfúrico, relação esta ilustrada pela figura 7 e definida pelo coeficiente de correlação $r = 0,938$, significativo ao nível de 0,01 de probabilidades. Vale salientar que, embora o potássio extraído pelo ácido sulfúrico apresente-se, em algumas amostras superior 20 potássio trocável e em outras inferior, o teste de significância revelou que a diferença entre as médias de ambas as quantidades não é significativa, devendo-se portanto admitir o potássio extraído pelo ácido sulfúrico com indicador do potássio trocável resultado perfeitamente coerente com o obtido pelo estudo da correlação.

O potássio total removido pelo cultivo contínuo mostrou-se estreitamente correlacionado com o potássio trocável, com o extraído pelo ácido sulfúrico e com o extraído

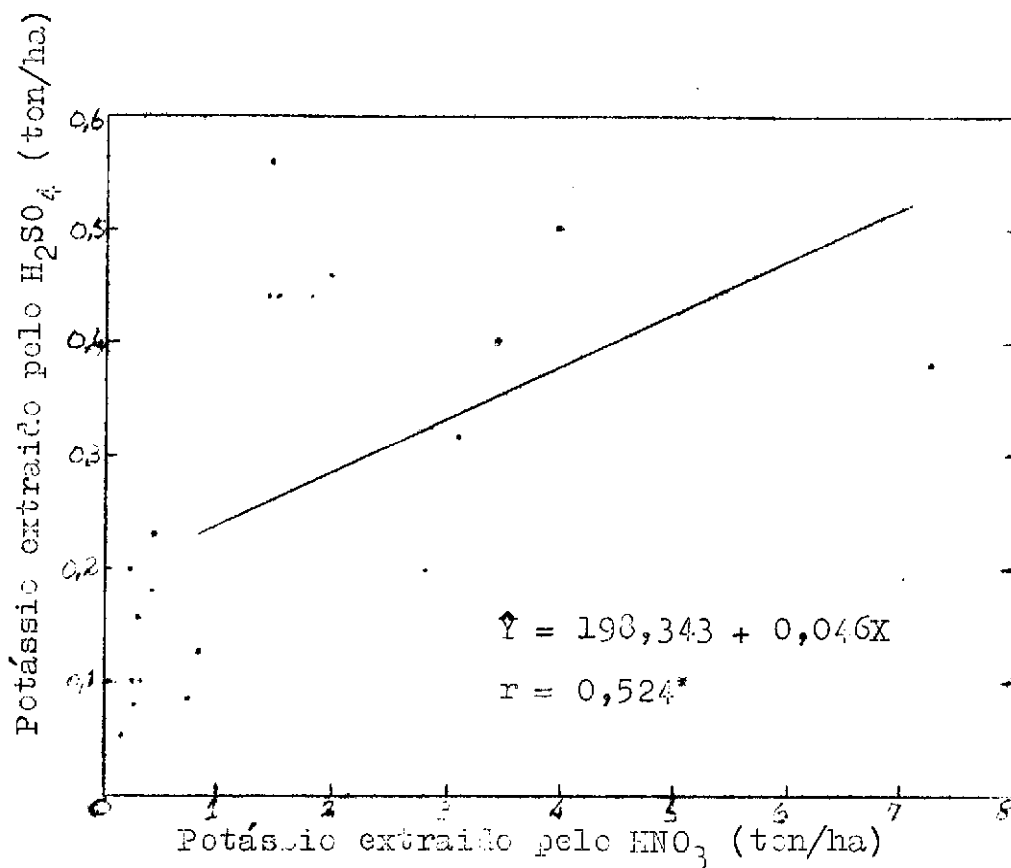


Fig. 5.- Relação entre o potássio extraído pelo HNO_3 N/1, com fervura por 10 minutos e o extraído pelo H_2SO_4 (método 1, HUNTER e PRATT, 1957)

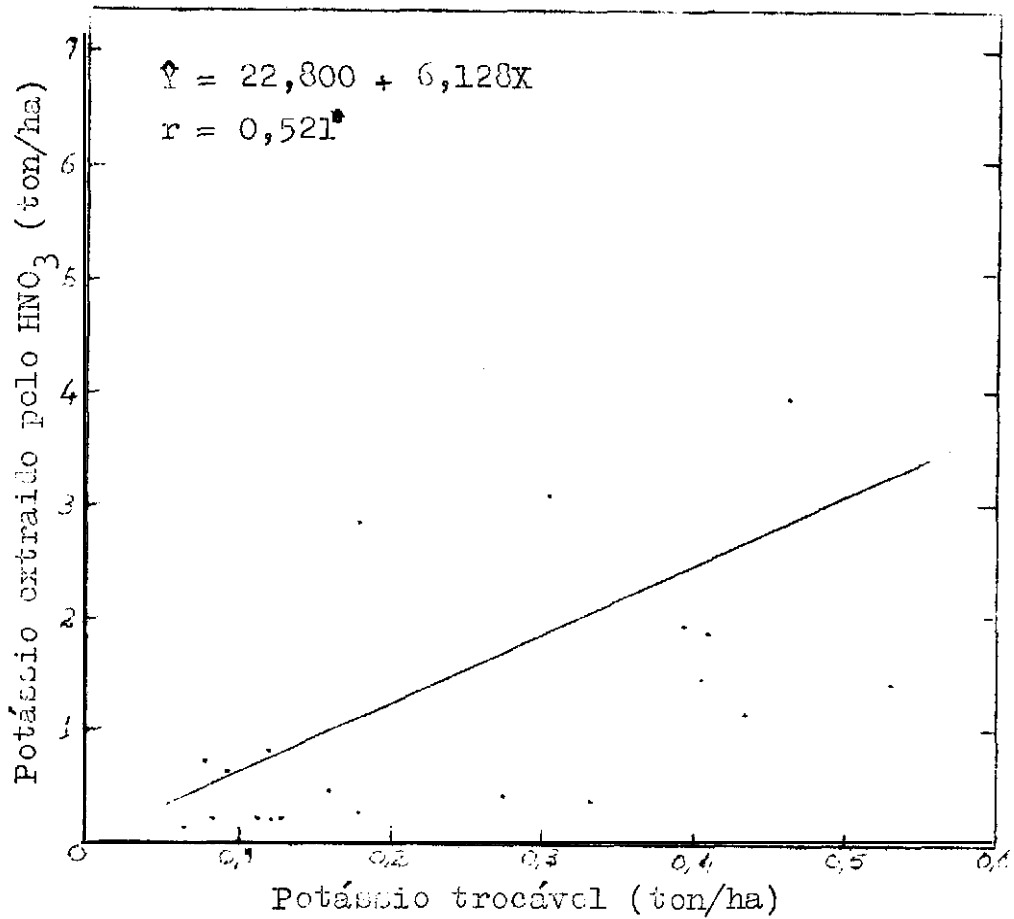


Fig. 6.- Relação entre o potássio extraído pelo ácido nítrico N/1, com fervu por 10 minutos e o potássio trocável.

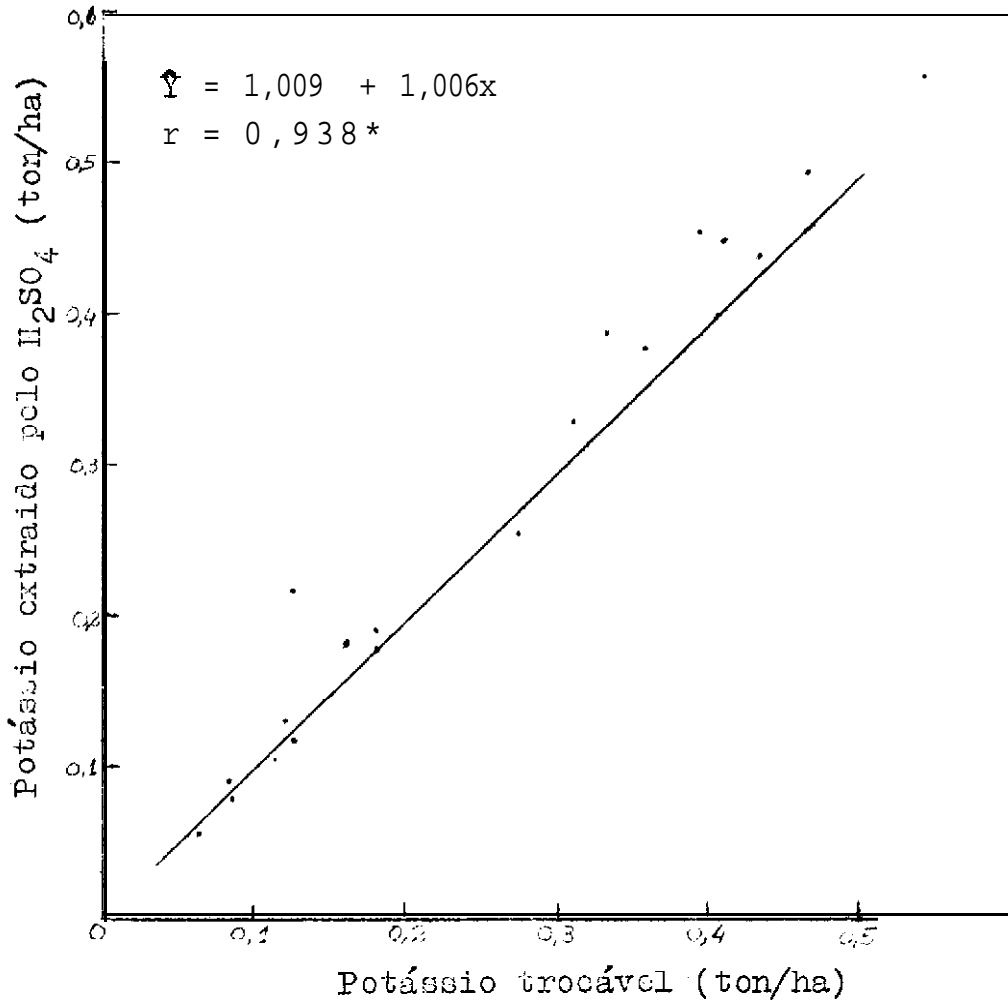


fig. 7.- Relação entre o potássio extraído pelo H₂SO₄ (método 1, HUNTER OPRATT) o potássio trocável.

pelo ácido nítrico (colunas B, D, E e F da Tabela 5). Os coeficientes de correlação calculados foram respectivamente, 0,847, 0,859 e 0,800 significativos ao nível de 0,01 de probabilidades. As relações acima estão ilustradas pelas figuras 3, 8 e 9. Transformando-se os valores de r em Z e fazendo-se a análise de variância de Z não se obtém diferença significativa entre os coeficientes de correlação obtidos entre o cultivo contínuo e qualquer dos métodos químicos empregados no presente estudo. Assim sendo pelo menos nos solos estudados, é possível estimar-se o potássio removido pelo cultivo contínuo a partir do potássio trocável ou do extraído pelo ácido sulfúrico ou nítrico, empregando-se para tal a equação $\hat{Y} = a + bX$ correspondente a cada combinação de métodos.

HUNTER e PRATT (1957) no entanto encontraram diferenças significativas ao nível de 0,01 de probabilidades entre os valores de r para o cultivo contínuo versus ácido sulfúrico e cultivo contínuo versus ácido nítrico.

4.4, Poder de suprimento de potássio

O poder de suprimento de potássio foi calculado subtraindo-se do potássio total assimilado pelas plantas, o decréscimo verificado na forma trocável por efeito do cultivo contínuo. Nos solos estudados observou-se uma grande variação no poder de suprimento de potássio (coluna F, Tabela 4), cujos valores extremos foram 157 a 1844, com média de 649 kg/ha.

Observando-se os dados da Tabela 4, verificamos que o potássio trocável (coluna B) foi sempre menor do que o poder de suprimento (Coluna F), exceto no solo número 11. A percentagem média do poder de suprimento sobre o potássio trocável foi de 253%. O potássio trocável mostrou-se estreitamente relacionado com o poder de suprimento, relação esta definida pelo coeficiente de correlação $r = 0,731$, signifi-

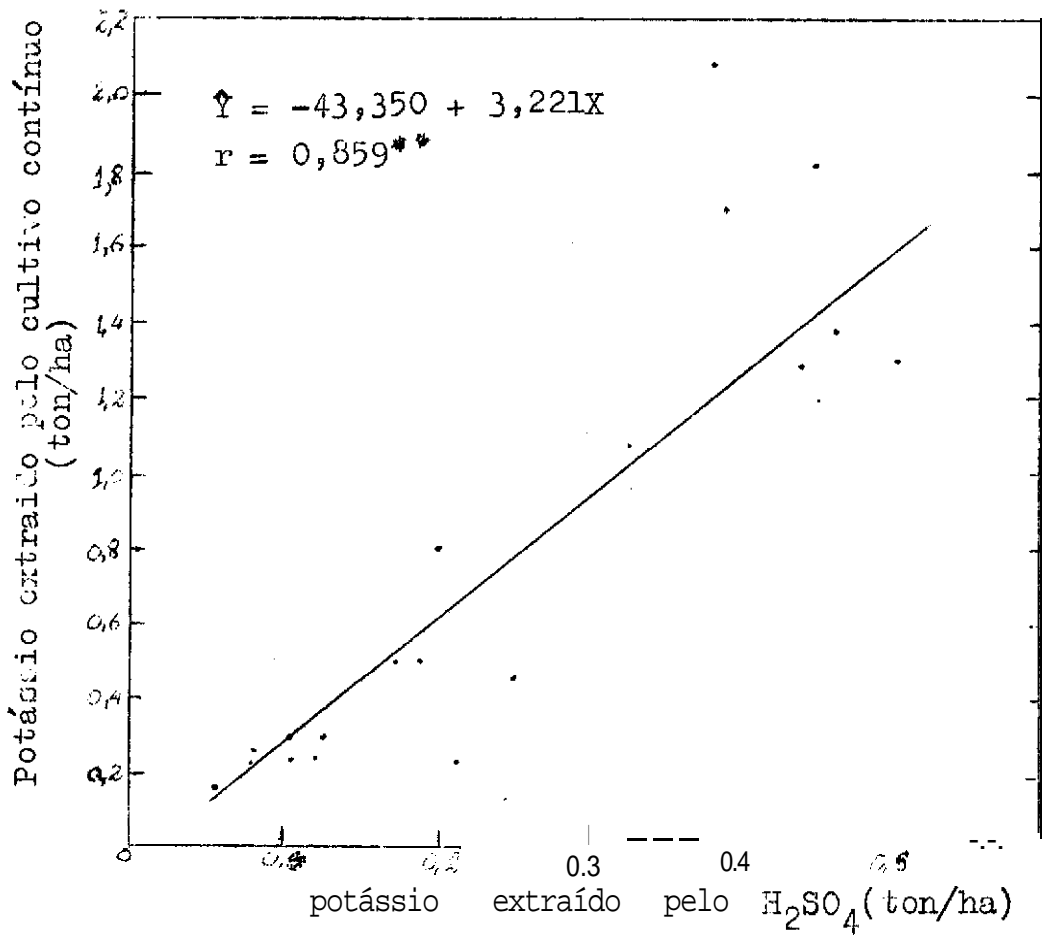


Fig. 8.-Relação entre o potássio extraído do solo pelo cultivo contínuo e o extraído pelo H₂SO₄ (método 1, HUNTER o PRATT).

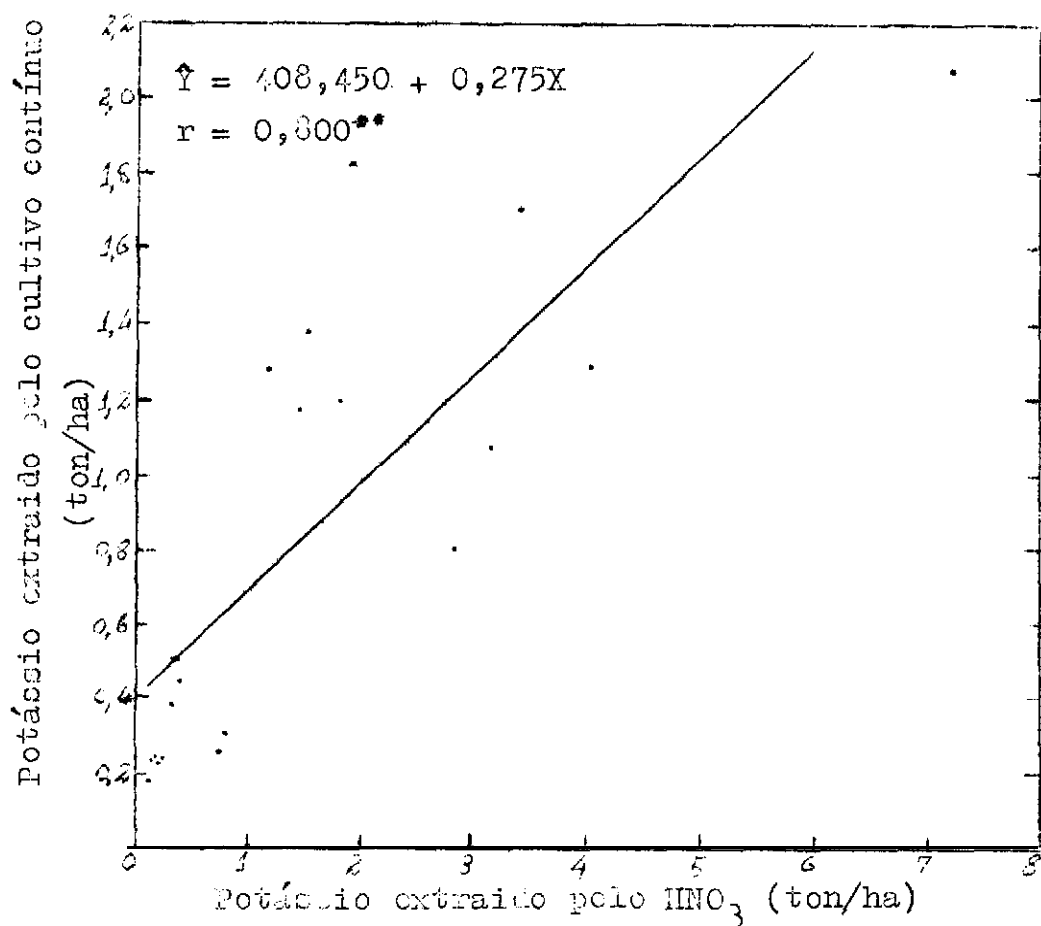


Fig. 9.- Relação entre o potássio extraído pelo cultivo contínuo e o extraído pelo HNO₃ N/1, com 10 minutos de fervura.

cativo ao nível de 0,01 de probabilidade ilustrada pela figura 10. Contudo são encontradas na literatura referências de que isso nem sempre acontece. POPE e CHENEY (1957), encontraram para 20 solos de Oregon um valor para o coeficiente de correlação de 0,174, não significativo. Tais resultados, contraditórios entre si, tornam duvidoso o emprego do potássio trocável como estimador do poder de suprimento de potássio. PRATT (1951) supõe que a capacidade do solo em liberar potássio não trocável esteja relacionado com o grau de intemperização a que foi submetido.

As relações ilustradas pelas figuras 11 e 12 e os coeficientes de correlação de 0,842 e 0,761, todos significativos ao nível de 0,01 de probabilidades, definem as relações encontradas entre o poder de suprimento e o potássio extraído do solo pelo ácido nítrico e pelo ácido sulfúrico. Deste modo, tanto o potássio extraído pelo ácido nítrico quanto o extraído pelo ácido sulfúrico pode ser indicador razoavelmente seguro do poder de suprimento do potássio para os solos estudados.

Dado ao fato de se ter obtido correlações estreitas entre o poder de suprimento de potássio e o potássio extraído pelo ácido nítrico, pelo ácido sulfúrico e potássio trocável, os valores de r respectivos foram transformados nos valores Z . A análise da variância de Z revelou que não existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação calculados. Assim sendo qualquer dos métodos químicos empregados no presente trabalho pode ser considerado como indicador do poder do suprimento de potássio.

O potássio não trocável liberado pelo ácido nítrico, ou seja, a diferença entre o potássio extraído do solo por aquele ácido e o potássio trocável (Coluna G, Tabela 5), foi, em certos solos superior ao potássio não trocável liberado pelo cultivo contínuo e, em outros, inferior.

O coeficiente de correlação foi da ordem de 0,812

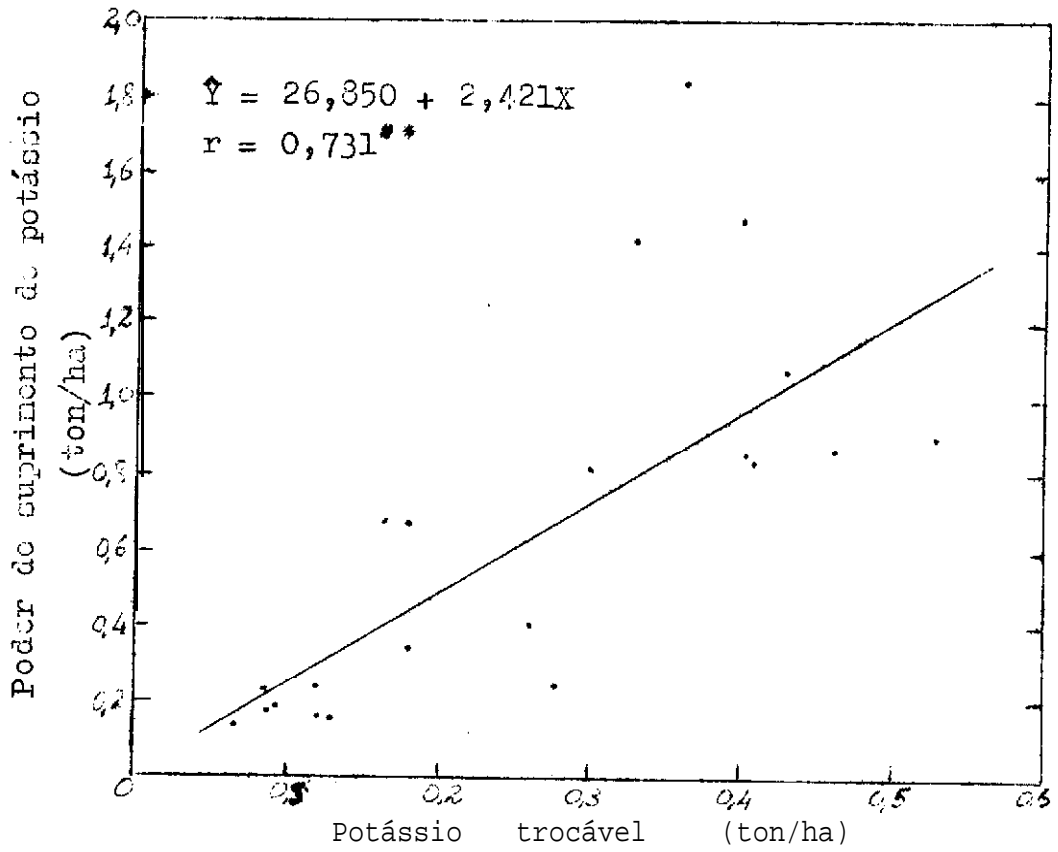


Fig. 10.- Relação entre o poder de suprimento de potássio de solo e o potássio trocável.

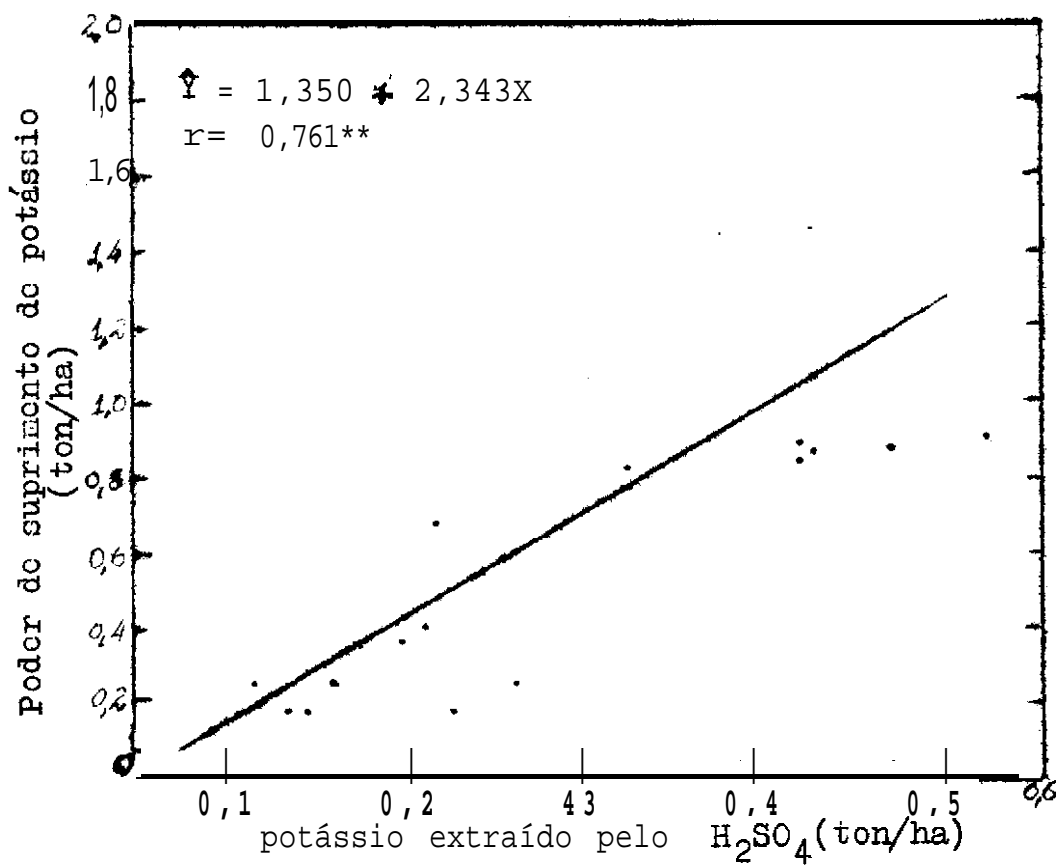


Fig. 11.- Relação entre o poder de suprimento de potássio do solo e o potássio extraído pelo H₂SO₄ (método 1, HUNTER e PRATT)

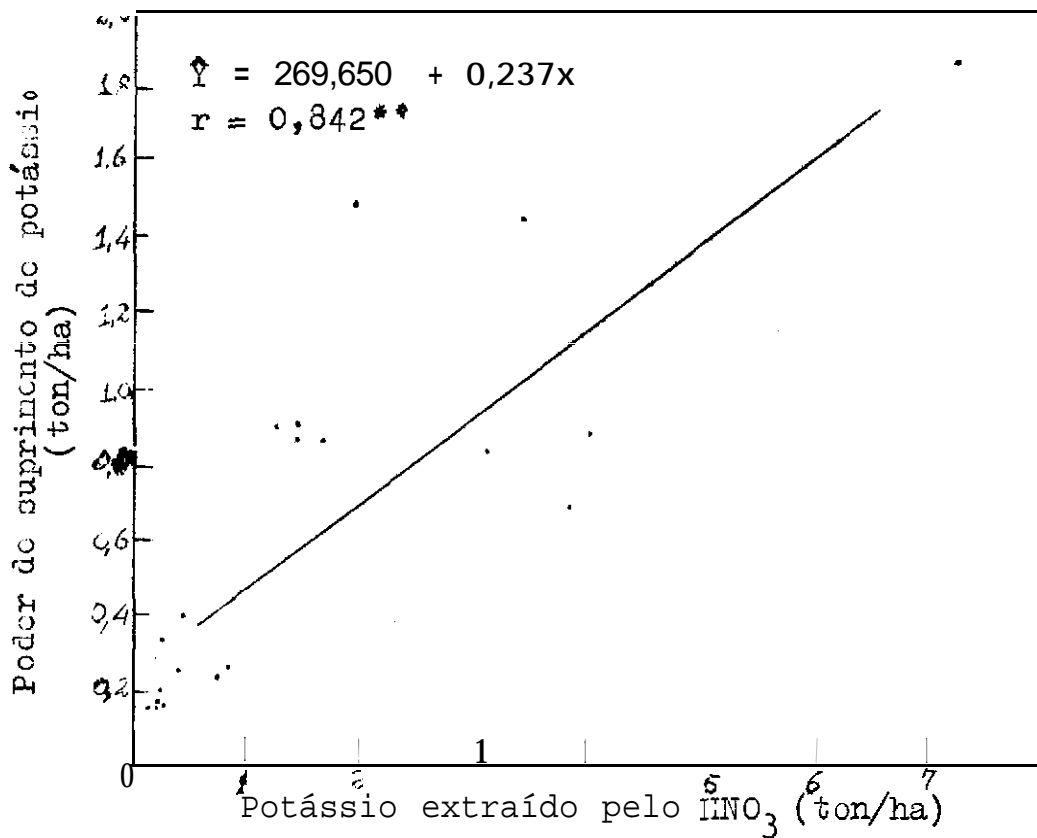


Fig. 12.- Relação entre o poder de suprimento de potássio de solo e o potássio extraído pelo HNO₃ N/1, com 10 minutos de fervura.

significativo ao nível de 0,01 de probabilidades.

Tendo em vista os resultados obtidos e o tempo necessário para se obter o resultado do poder de suprimento pelo cultivo contínuo, êste pode ser estimado a partir dos valores de potássio não trocável liberado pelo ácido nítrico N/1, com fervura por 10 minutos.

Tabela 6

Coeficientes de correlação linear, mostrando as relação entre os teores de potássio extraído dos solos par 3 métodos químicos e os teores removidos pelo cultivo contínuo, método de Neubauer, potássio não trocável liberado pelo cultivo contínuo e pelo ácido nítrico.

	potássio trocável	Potássio extraído pelo H_2SO_4	Potássio extraído pelo HNO_3	potássio liberado pelo HNO_3 -
Potássio trocável	--	0,938 **	0,521 *	--
potássio extraído pelo HNO_3	0,521*	0,524*	--	--
potássio removido pelo método de Neubauer	0,765**	--	--	
Potássio não trocável liberado pelo cultivo contínuo	0,731**	0,761**	0,842*	0,812 **

* significativo ao nível de 0,05 de probabilidade $r = 0,444$

** significativo ao nível de 0,01 de probabilidade $r = 0,551$

CONCLUSÕES

Em face dos resultados obtidos concluímos:

- 5.1, O potássio extraído do solo pelo método de Neubauer é quase sempre inferior ao potássio trocável e, apresenta-se estreitamente correlecionado com este. Deste modo pode-se admitir o potássio extraído pelo método em questão como indicador de potássio trocável de solo.
- 5.2, De um modo geral, quando intensivamente cultivado o solo fornece mais potássio às plantas do que o existente na forma trocável antes do cultivo, indicando um deslocamento do equilíbrio do potássio com aumento das formas prontamente assimiláveis.
- 5.3, A eficiência do ácido nítrico N/1, com fervura em relação ao ácido sulfúrico (método 1, HUNTER e PRATT, 1957) como extrator de potássio foi em média 578%.
- 5.4, O potássio extraído pelo ácido sulfúrico é aproximadamente igual ao extraído pelo acetato de amônio N/1, pH 7,0, prestando-se, deste modo, como indicador do potássio trocável.
- 5.5, O potássio trocável, o extraído ou liberado da forma não trocável pelo ácido nítrico, bem como o extraído pelo ácido sulfúrico, podem ser considerados como estimadores do poder de suprimento de potássio do solo.
- 5.6, Os métodos químicos de extração de potássio fornecem

indicações relativamente seguras do poder de suprimento de potássio do solo e podem ser empregados sempre que se fizerem necessárias informações em curto prazo e de apenas relativa segurança. O método de cultivo contínuo deverá ser preferido sempre que se fizer necessária maior precisão e segurança.

RESUMO

Vinte unidades de solos da zona fisiográfica de Baturité foram intensivamente cultivadas em vasos durante 240 dias, tendo o milho como planta indicadora. Os teores de potássio extraídos e liberados da forma não trocável pelo cultivo contínuo foram determinados. Estes valores foram comparados com o potássio trocável, com o potássio extraído e liberado da forma não trocável pelo ácido nítrico N/1, com fervura e com o extraído pelo ácido sulfúrico (método 1, HUNTER e PRATT, 1957).

Observou-se grande variação entre as unidades de solos no que respeita ao poder de suprimento de potássio. Es treitas correlações foram encontradas entre o poder de suprimento de potássio, como determinado pelo cultivo contínuo, com o potássio extraído e liberado da forma não trocável pelo ácido nítrico, com o extraído pelo ácido sulfúrico e com o potássio trocável determinado antes do cultivo. Os valores de r calculados foram transformados no Valor Z e a análise de variância d'êstes não apresentou diferença significativa entre os coeficientes de correlação calculados. Em vista disto, pode-se admitir que o poder de suprimento de potássio, nos solos estudados, pode ser estimado a partir de qualquer um dos métodos empregados no presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. ABED, F. H. and DREW, J. V. The importance of illite as a source of potassium in Nebraska soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:242-244. 1966.
2. ANDREATA, C. L'alterazione dei minerali delle rocce in rapporto alla messa in circolazione del potassio. In: Potassium symposium. Bern, International Potash Institute, 1955. p.104-119.
3. ARNOLD, P.W. and CLOSE, B. M. Release of non-exchangeable potassium from some British soils cropped in the glass house. J. Agr. Sci. 57:295-304. 1961.
4. ATTOE, O. J. and TRUOG, E. Exchangeable and acid-soluble potassium as regards availability and reciprocal relationships. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 10:81-86. 1946.
5. ----- . Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11:145-154. 1947.
6. ----- . Rapid photometric determination of potassium and sodium in plant tissue. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 12:131-134. 1948.
7. AYRES, A. S., TAKHASHI, M. and KANEHIRO, Y. Conversion

- of nonexchangeable potassium to exchangeable forms in Hawaiian soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11:175-181. 1947.
8. ----- Release of non-exchangeable potassium in Hawaiian sugar cane soils. University of Hawaii Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 1:5-50. 1949.
 9. BATES, T. E. and SCOTT, A. D. Soil moisture effects on potassium release observed on drying soil with organic additives. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:673-676. 1965.
 10. BEAR, F. E., PRINCE, A. L. and MALCOLM, J. L. the potassium-supplying power of 20 New Jersey soils. Soil Sci. 58:139-149. 1944.
 11. BISHOP, R. F., MacLEAN, A. J. and LUTWICH, L. E. Fertility studies on soil types IV. Potassium supply and requirement as shown by greenhouse studies and laboratory tests. Canadian Journal of Agricultural Science 34:374-384.
 12. BLACK, C. A. Soil-plant relationships. New York, John Wiley, 1957. p.287-324.
 13. BRAY, R. H. and DeTURK, E. E. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 3:101-106. 1939.
 14. ----- Requirements for successful soil tests. Soil Sci. 66:83-88. 1948.
 15. BRELAND, H. L. BERTRAMSON, B. R. and BORLAND, J. W. Potassium-supplying power of several Indiana soils. Soil Sci. 70:237-247. 1950.
 16. BURNS, A. F. and BARBER, S. A. The effect of temperature and moisture on exchangeable potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:349-352. 1961.
 17. CATANI, R. A., GALLE, J. R. e GARGANTINI, H. Amostragem do solo, método de análise, interpretação e identificações gerais para fins de fertilidade. Instituto

- agronômico de Campinas (Brasil) Boletim 69:1-29. 1955.
18. CATANI, R. A. e BERGAMIN, H. Sobre uma modificação no método de Neubauer. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Brasil) 18:288-299. 1964.
 19. CHANDLER, R.F. PEECH, M. and CHANG, C. W. The release of exchangeable potassium from different soil upon cropping. Jour. Amer. Sco. Agron. 37:709-721. 1945.
 20. COOK, M. G. and HUTCHESON, T.B. Soil potassium reactions as related to clay mineralogy of sected Kentucky soils Soil Sci. Sco. Am. Proc. 24:252-256. 1960.
 21. DeTURK, E. E., WOOD, L. K. and BRAY, R. H. Potassium fixation in corn belt soils. Soil Sci. 55:1-12. 1943.
 22. DOLL, E. C., et. al. Release of potassium from soil fractions during cropping. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 29: 699-702. 1965.
 23. ELLIS, B. G. and MORTLAND, M. M. Rate of potassium release from fixed and native formes. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 23:451-453. 1959.
 24. EVANS, C. E. and ATTOE, O. J. Potassium-supplying power of virgin and cropped soils. Soil Tci. 66:323-333. 1948.
 25. FEIGENBAUN, S. and HAGIN, J. Evaluation of methods for determining available soil potassium based on potassium uptake by plants. J. Soil Sci. 18:197-203. 1967.
 26. FRAPS, G. S. Relation of potash removed by crops to the active, total, acid soluble, and acid-insoluble potash of the soil. Texas Agr. Expt. Sta. Bull, 355: 1-33. 1927.
 27. GARMAN, W. L. Potassium release characteristics of several soil from Ohio and New York. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 21:52-58. 1957.

28. GILLINGHAN, J. T. Some factors affecting the net absorption of exchangeable potassium by Neubauer rye seedling method. *Soil Sci.* 100:384-389. 1965.
29. GLORIA, NADIR A., CATANI, R. A. e MATUO, T. M. O método do EDTA na determinação do cálcio e magnésio "trocável" do solo. *Revista de Agricultura (Brasil)* 50:67-74. 1965.
30. GRISSINGER, E. and JEFFRIES, C. D. Influence of continuous cropping on the fixation and release of potassium in three Pennsylvania soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21:409-412. 1957.
31. HAAGSMA, T. and MILLER, M. H. The release of nonexchangeable soil potassium to cation-exchange resins as influenced by temperature, moisture and exchanging ion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:153-156. 1963.
32. HALEY, D. E. Availability of potassium in orthoclase for plant nutrition. *Soil Sci.* 15:167-179. 1923.
33. HOAGLAND, D. R. and MARTIN, J. C. Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, nonreplaceable, and soil solution potassium. *Soil Sci.* 36:1-33. 1933.
34. HANWAY, J. J. and SCOTT, A. D. Soil potassium-moisture relations: III. Determining the increase in exchangeable soil potassium on drying soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23:22-24. 1959.
35. HOAGLAND, R. R. and MARTIN, J.C. Availability of K to crops in relation to replaceable and non-replaceable K and to effects of cropping and O. M. *Soil Sci. Am. Proc.* 15:272-278. 1951.
36. HOOD, J. T., BRADY, N. C. and LATHWELL, D. J. The relationship of water soluble and exchangeable potassium to yield and potassium uptake by Ladino clover. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: 228-230. 1956.

37. HUNTER, A. H. and PRATT, P. F. extraction of potassium from soils by sulfuric acid. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:595-598. 1957.
38. INCLAN, R. S. e COELHO, F. A. de Paula. Levantamento exploratório dos solos da zona fisiográfica de Baturité. Superintendência do Desenvolvimento Econômico e Cultural (Ceará - Brasil) 174p. 1967.
39. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498p.
40. JAWORSKI, C. A. and BARBER, S. A. Soil properties in relation to potassium uptake by alfalfa. Soil Sci. 87:34-41. 1959.
41. JENNY, H. and AYERS, A. D. The influence of the degree of saturation of soil colloids on the nutrients intake by roots. Soil Sci. 48:443-459. 1939.
42. JONES, J. B. et. al. Effect of drying some Ohio soils upon the soil test potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:123-124. 1361.
43. JORGE, JOSÉ A. e GARGANTINI, H. Determinação do potássio do solo pelo método do Neubauer e por diversos extratores químicos. Bragantia (Brasil) 22:751-758. 1963.
44. KOLTERMAN, D. E. and TRUOG, E. Determination of fixed potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17:347-351. 1951.
45. LEEG, J. O. and BEACHER, R.L. The potassium supplying power of representative Arkansas soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16:210-214. 1952.
46. ----- and AXLEY, J. H. Investigation of a thermal method for determination of fixed potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22:287-290. 1958.
47. LUEBS, R. E., STANFORD, G. and SCOTT, A. D. Relation of available potassium to soil moisture. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20:45-50. 1956.

48. LUTZ, J. A. Ammonium and potassium fixation and release in selected soils of Southeastern United States. Soil Sci. 102:366-372. 1966.
49. McLEAN, E. O. and SIMON, R. H. Potassium status of some Ohio spils as revealed by greenhouse and laboratory studies. Soil Sci. 85:325-331. 1958.
50. MATHEWS, B. C. The fixation and release of soil potassium. Ph. D. thesis. New York, Cornell University, 1952. 125p.
51. MERWIN, H. D. and PEECH, M. Exchangeability of soil potassium in the sand silt and clay fractions as influenced by nature of the complementary cation. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 15:125-128. 1951.
52. NELSON, L. E. A. Comparison of several methods for evaluating the potassium status of some Mississipe soils. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 23:313-316.1959.
53. OLSEN, S. R. and SHAW, B. T. Chemical Mitscherlich, and Neubauer methods for determining available potassium in relation to crop response to potash fertilization. J. Am . Sco. Agron. 35:1-9. 1943.
54. PEARSON, R. W. Potassium-supplying power of eight Alabama soils. Soil Sci. 74:301-309. 1952.
55. PEECH, M. and BRADFIELD, R. The effect of lime and magnesia on the soil potassium and on absorption of potassium by plants. Soil Sci. 55:37-48. 1943.
56. POPE, A. and CHENEY, H. B. The potassium supplying power of several Western Oregon soils. Soil Sci. Sco Am. Proc. 21:75-79. 1957.
57. PRATT, P. F. Potassium removal from some soils by greenhouse and laboratory procedures. Soil Sci. 72: 107-117. 1952.
58. ----- . Release of potassium from nonexchangeable forms from size fractions of several Iowa soils. Soil Sci. Sco. Am. Proc. 16:25-29. 1952.

59. PRATT, P. F., SIMON, R. H. and VOLK, G. W. Release of potassium from nonexchangeable forms in relation to soil reaction Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 190-193. 1956.
60. ----- . Potassium. In: BLACK, C. A. ed. Methods of soil analysis. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. p. 1029.
61. REITEMEIER, R. F. et al. Release of nonexchangeable potassium by greenhouse, Neubauer and laboratory methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 12:158-162. 1948.
62. -----, HOLMES, R. S. and BROWN, I. C. Available nonexchangeable soil potassium at three Northern Great Plains locations by a Neubauer procedure. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 14:101-106. 1950.
63. ----- . Soil potassium. Advances in Agronomy 3:113 - 164. 1951.
64. RICH, C. I. and BLACK, W. R. Potassium exchange as affected by cation size and mineral structure. Soil Sci. 97:384-390. 1964.
65. RICHARDS, G. E. and McLEAN, E. O. Release of fixed potassium from soils by plant uptake and chemical extraction techniques. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 98-101. 1961.
66. ROUSE, R. D. and BERTRAMSON, B. R. Potassium Availability in several Indiana soils: Its nature and methods of evaluation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 14:113-123. 1950.
67. SALOMON, M. and SMITH, I. B. A comparison of methods for determining extractable soil potassium in fertilizer test plots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 222-225. 1953.
68. SCHIMITZ, G. W. and PRATT, P. F. Exchangeable and nonexchangeable potassium absorption by corn in greenhouse. Soil Sci. 76:345-353.

69. SCHUFFELEN, A. A. and Van der MAREL, H. W. Potassium fixation in soils. In: Potassium symposium. Bern, International Potash Institute, 1955. p.104-119.
70. SCOTT, A. D., HANWAY, J.J. and STICKNEY, E. M. Soil potassium moisture relations: I. Potassium release observed on drying Iowa soils with added salts or HCl. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:498-501. 1957.
71. -----, and WILCH, L.F. Release of nonexchangeable soil potassium during short periods of cropping and sodium tetraphenylboron extraction. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:128-131. 1961.
72. STEWART, E. H. and VOLD, N.J. Relation between potash in soils and that extracted by plants. Soil Sci. 61:125-129. 1946.
73. SUTTON, P. and SEAY, W. A. Relationship between potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted by 4 chemical methods from 6 Kentucky soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22:110-115. 1958.
74. TABATABAI, M. A. and HANWAY, J. J. Potassium supplying power at their "minimal" levels of exchangeable potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:105-108. 1969.
75. ter KUILE, C.H.H. Some studies on the release of potassium from soils. Ph. D. thesis. New York, Cornell University, 1952. 96p.
76. TISDALE, S. L. and NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan, 1966. p. 252-271.
77. DEPARTAMENT OF ABRICULTURE Hand book n°. 60. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 1954. p. 9-13.
78. Van ITALLIE, TH.B. Cation equilibria in plants in relation to the soil. Soil Sci. 46:175-186. 1938.
79. VETTORI, L. Métodos de análises de solo E quipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura

- ra, Boletim técnico 7:3-23. 1969.
80. VOLK, G. W. The nature of potassium fixation in soils. Soil Sci. 45:263-276. 1938.
 81. WEBER, J. B. Potassium supplying power of several Minesota surface soils and subsoils. Soil Sci. 100: 34-43. 1965.
 82. WELCH, L.F. and SCOTT, A. D. Availability of nonexchangeable soil potassium to plants as affected by added potassium and ammonium. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 102-104. 1961.
 83. WILLIAMS, D. E. and JENNY, H. The replacement of nonexchangeable potassium by various acids and salts. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16:216-221.
 84. WOOD, L. K. and DeTURK, D. E. The absorption of potassium in soils in non-replaceable forms. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 5:152-161.