

Matemática e Cálculos para Agrônomos e Cientistas do Solo

DAVID E. CLAY
C. GREGG CARLSON
SHARON A. CLAY
T. SCOTT MURRELL

Original em inglês

Mathematics and Calculations for Agronomists and Soil Scientists

(publicado pelo International Plant Nutrition Institute – IPNI, EUA, em 2012)

Tradução por

Eros Francisco

Diretor Adjunto do IPNI Brasil

Silvia Regina Stipp

Engenheira Agrônoma

Revisão e adaptação por

Jorge de Castro Kiehl

Professor Titular aposentado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP



PUBLICADO POR
INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

Piracicaba-SP
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Matemática e cálculos para agrônomos e cientistas do solo / David E. Clay ... [et al.] - -
Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2015.
245 p. : il.

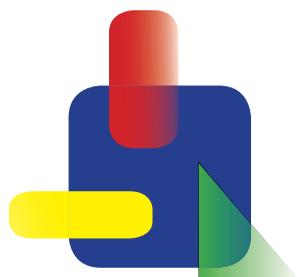
Bibliografia.
ISBN: 978-85-98519-09-8

1. Matemática 2. Cálculo diferencial e integral 3. Solos 4. Engenheiros agrônomos
5. Cientistas I. Clay, D. E. II. Carlson, C. G. III. Clay, S. A. IV. Murrell, T S. V. Título.

CDD 630.21
I61m

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem a autorização por escrito do autor e da editora.

IMPRESSO NO BRASIL
PRINTED IN BRAZIL



Sobre os Autores:

Dr. David Clay, Professor of Soil Science, South Dakota State University
Brookings, SD 57007, USA

Dr. C. Gregg Carlson, Professor of Agronomy, South Dakota State University
Brookings, SD 57007, USA

Dr. Sharon Clay, Professor of Weed Science, South Dakota State University
Brookings, SD 57007, USA

Dr. T. Scott Murrell, Northcentral Director, International Plant Nutrition Institute
West Lafayette, IN 47906, USA

Matemática e Cálculos para Agrônomos e Cientistas do Solo

Durante os anos escolares somos expostos a cálculos matemáticos que, naquela época, poderiam até parecer simples. No entanto, com o passar do tempo, e por nem sempre utilizarmos a Matemática no dia-a-dia, podemos encontrar certa dificuldade na resolução de problemas de ordem prática envolvendo procedimentos que exijam a integração de informações. É nesse momento que recorremos ao auxílio de profissionais qualificados ou de literatura apropriada.

Este livro tem o objetivo claro de servir de literatura básica para aqueles que necessitam de auxílio no entendimento e resolução de problemas envolvendo as diferentes atividades relacionadas à Agronomia, como, por exemplo, emprego correto de unidades de medida; cálculos envolvendo fertilizantes; remoção de nutrientes do solo; aplicação de defensivos agrícolas; taxas de semeadura e população de plantas;

armazenamento de forragem e grãos; correção da acidez, sodicidade e salinidade do solo; estimativa de custo de produção, entre outras.

Com o progresso gradativo do conhecimento sobre aspectos relacionados à Agronomia, o livro procura propiciar condições para que estudantes e profissionais do setor agrônomico possam adquirir ou aprimorar seus conhecimentos. Uma importante característica desta obra é apresentar, em cada capítulo, vários exercícios envolvendo situações reais e que ajudam o leitor na solução dos problemas apresentados.

Por ser um livro de caráter aplicado, redigido por equipe qualificada e, principalmente, por ter contado com a tradução e revisão de equipe especializada, o IPNI Brasil sente-se honrado em disponibilizar este material a todos aqueles que atuam no setor agroindustrial.

Luís Ignácio Prochnow

Diretor do IPNI Brasil

Valter Casarin

Diretor Adjunto do IPNI Brasil

Eros Francisco

Diretor Adjunto do IPNI Brasil

Muitos gestores de recursos naturais têm dedicado menos tempo na realização de trabalho manual e mais tempo na resolução de problemas. Esta mudança na alocação de recursos é típica da era da informação. No entanto, como a gestão de recursos naturais é uma atividade dominada pela tradição, outros gestores adotaram apenas lentamente as tecnologias da era da informação. Olhando para trás na história, a transição do emprego da tração animal para a tração mecânica no campo foi uma mudança inevitável e monumental. No entanto, grande número de agricultores entenderam essa mudança como sendo um erro. Os primeiros tratores foram construídos no início de 1900, mas não substituíram substancialmente a força animal até os anos 1940 e 1950. A transição foi uma mudança geracional, tanto quanto uma mudança de processos de pensamento. A transição da agricultura para a era da informação está ocorrendo, e tem sido tão intensa quanto a transição da tração animal para a tração mecânica.

A linguagem da era da informação é a da Matemática e a dos computadores. No entanto, gestores de recursos naturais têm sido tradicionalmente treinados nas ciências biológicas com foco no desenvolvimento cognitivo, e não nas habilidades matemáticas. A falta de habilidades matemáticas avançadas dificulta a capacidade de integrar plenamente as tecnologias da era da informação aos processos de decisão. Ser capaz de integrar a Matemática e os avanços tecnológicos às decisões requer:

- Compreensão do método científico,
- Compreensão de como as experiências são conduzidas e analisadas, e
- Conhecimento de como desenvolver e testar modelos conceituais e matemáticos.

A maior parte dos cursos possui conteúdo específico e compartimentado. Mesmo que as soluções para muitos problemas requeiram a capacidade

de integrar informações utilizando a abordagem com base científica, poucas disciplinas ensinam os alunos a realizar essa tarefa. Em muitas situações, os gestores de recursos naturais estão visivelmente apreensivos sobre como empregar a Matemática. Os gerentes precisam aprender a utilizar essa ferramenta importante para a solução dos problemas práticos diários.

Este livro tem o objetivo de ensinar os gestores de recursos naturais atuais e futuros como: 1) integrar informações de diferentes disciplinas e 2) executar cenários de gestão inovadores usando a melhor ciência disponível. Está organizado em três seções gerais. Na primeira seção, os alunos são introduzidos a uma série de exemplos de conversões de unidade em muitos formatos diferentes. Na segunda seção, são apresentadas informações gerais sobre o método científico. Incluem-se os princípios de experimentação e amostragem, utilizando modelos como ferramentas para melhorar a compreensão dos sistemas, e uma revisão dos conceitos de análise econômica. Na terceira seção são fornecidos exemplos de integração de informações de várias disciplinas, com o objetivo de mostrar como os conceitos aprendidos nas duas seções podem ser utilizados para resolver problemas reais. As habilidades ensinadas nesta seção têm aplicações em escalas locais, regionais e nacionais. Os capítulos aumentam em dificuldade à medida que o leitor avança na leitura do livro. O objetivo geral desta obra é ensinar os alunos a propor, testar e implementar as estratégias de gestão inovadoras que estão melhor posicionadas para aumentar a lucratividade e a produtividade e proteger o ambiente.

David E. Clay
Charles G. Carlson
Sharon A. Clay
T. Scott Murrell



ÍNDICE

MATEMÁTICA E CÁLCULOS PARA AGRÔNOMOS E CIENTISTAS DO SOLO

1. Revisão de Adição, Subtração, Multiplicação e Divisão

Números positivos e negativos	1
Valor absoluto	2
Adição	2
Subtração.....	3
Multiplicação	3
Divisão	5
Multiplicação de frações	5
Divisão de frações.....	6
Soma e subtração de frações.....	8

2. Sistema Internacional de Unidades (SI) e Regras para Conversão de Unidades

O Sistema Internacional de Unidades (SI)	9
Convenções para escrever as unidades do SI	12
Regras para a conversão de unidades	12
Conversão de unidades	14

3. Conversão de Unidades Envolvendo Temperatura, Soma Calórica e Condutividade Térmica

Regras para resolver equações	17
Desenvolvendo equações.....	17
Conversão de temperaturas.....	18
Convertendo dados de temperatura em graus-dia acumulados	18
Condutividade térmica	20
Calor específico.....	20

4. Latitude/Longitude e Cálculo de Distância, Área e Taxa

Latitude, longitude e o Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM)	21
Importância dos dígitos e conversão dos valores de latitude/longitude	22
Calculando distâncias	23
Calculando áreas.....	24

Convertendo unidades de taxas	25
Convertendo área em necessidade de trabalho	26
5. Conversão de Unidades Envolvendo Fertilizantes	
Porcentagem e composição dos fertilizantes	29
Densidade e gravidade específica.....	30
Calculando as quantidades de nutrientes nos fertilizantes.....	31
Cálculo das doses de nutrientes a aplicar.....	32
Determinando volumes de nutrientes a aplicar	33
Determinando os custos de nutrientes nos fertilizantes simples	33
Determinando os custos de nutrientes nos fertilizantes compostos.....	34
Calculando as doses de aplicação de fertilizantes compostos	34
6. Exportação e Balanço de Nutrientes	
Estimativa da exportação de nutrientes a partir de dados publicados.....	37
Cálculo da exportação de nutrientes a partir de resultados laboratoriais.....	41
Balanço de nutrientes	42
7. Propriedades Físicas e Umidade do Solo	
Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade.....	45
Cálculo da massa de solo em 1 hectare.....	48
Determinação da quantidade de água no solo.....	48
Umidade gravimétrica, umidade volumétrica e quantidade de água disponível	49
Tempo necessário para irrigar campos e jardins.....	52
Medidas do fluxo de água	53
Textura do solo e superfície específica	55
8. Molaridade, Concentrações e Isótopos Estáveis	
Molaridade.....	57
Partes por milhão e partes por bilhão.....	59
Convertendo ppm em quantidade de produto químico em uma substância	61
Isótopos estáveis.....	62
9. Conversões de Unidades e Problemas Envolvendo Aplicação de Defensivos Agrícolas	
Determinação das taxas de aplicação do pulverizador	65
Calibração para soluções líquidas	65
Compra de misturas de herbicidas.....	72
10. Estimativa das Taxas de Semeadura, População de Plantas, Rendimento de Milho e Soja e Perdas de Rendimento Durante a Colheita	
Estimativa das taxas de semeadura	75
Estimativa da população de plantas	76

Estimativa de rendimentos	76
Desenvolvendo um protocolo para estimar o rendimento de milho	76
Estimativa das perdas de rendimento de milho durante a colheita	78
Dados do monitor de produtividade	79
11. Rendimento de Grãos e Forragem – Umidade e Encolhimento	
Rendimento de forragem	81
Rendimento de grãos.....	82
Porcentagem de umidade dos grãos	83
Estimativa do peso hectolítrico	84
Umidade e teor de proteína	84
Encolhimento de grãos.....	85
12. Cálculo do Espaço para Armazenamento de Grãos e Forragem	
Cálculo da capacidade de armazenamento de forragem.....	90
Cálculo da quantidade de milho em uma pilha e emprego do clinômetro para estimar a altura.....	90
13. pH do Solo, Capacidade de Troca de Cátions, Saturação por Bases, Equilíbrio do Carbonato de Cálcio e Calagem	
pH do solo e ácidos fracos	93
Predizendo o potencial de lixiviação	95
Valores de pH de ácidos fracos	95
Equivalente de carbonato de cálcio	96
Capacidade de troca de cátions	96
Saturação por bases	97
Recomendação de calagem.....	98
Dose efetiva de calcário.....	98
14. Salinidade, Sodicidade e Condutividade Elétrica do Solo	
Solos salinos	101
Solos sódicos (PST e RAS)	102
Necessidade de lixiviação	103
Manejo de solos salinos e sódicos	105
15. Ciência, Descoberta e Tomada de Decisão	
A função da Ciência na tomada de decisão.....	107
O método científico.....	108
Definição do problema.....	108
Hipótese.....	109
Unidade experimental e tratamento.....	109

Delineamento experimental.....	109
Coleta de dados	110
Análise.....	110
Interpretação e modelagem.....	110
Validação e interpretação	112
16. Experimentação Científica, Análise Estatística e Interpretação	
Tipos de pesquisa	115
Pesquisa experimental	115
Análise de correlação	116
Pesquisa observacional.....	116
Levantamentos (surveys)	116
Estudo de caso.....	117
Análise de Experimentos	
Populações	117
Amostragem	118
Estatística	118
Médias	118
Mediana.....	120
Precisão <i>versus</i> exatidão.....	120
Variância e desvio-padrão	120
Estimando os requisitos de amostragem	121
Distribuição de frequência e histogramas	123
Teste de hipóteses.....	124
O teste t	124
Teste t para dados emparelhados	125
17. Compreensão e Quantificação de Mudanças com o Emprego de Modelos	
Diagramas conceituais e relacionais.....	127
Convertendo diagramas relacionais em Matemática.....	127
Condições de contorno.....	128
Modelos lineares.....	129
Função de decaimento exponencial (modelos de primeira ordem) e meia-vida.....	129
Decaimento radioativo	130
Crescimento exponencial	131
Modelo logístico	131
A seleção do modelo influencia a recomendação	132

Importância da seleção de modelos apropriados	132
Modelos de simulação	135
18. Avaliação dos Custos e Retornos das Decisões de Manejo	
Análise do custo de capital	137
Fluxo de caixa (saldo do empréstimo e juros pagos)	139
Diferentes tipos de análise econômica	140
Estimativa do custo de produção.....	141
19. Emprego dos Quadrados Mínimos para Estimar as Perdas de Rendimento de Milho	
Efeito da uniformidade de plantio sobre o rendimento de milho	143
Método	143
Avaliação da uniformidade do espaçamento e do efeito no rendimento.....	144
População de plantas	145
Estimativa do aumento de rendimento devido à calibração da plantadora.....	145
Estimativa da perda de rendimento com o emprego de plantadora não calibrada	147
20. Emprego da Iteração para Desenvolver Equações Preditivas para os Modelos Polinomial, Mitscherlich, Hiperbólico e Logístico	
Importância das equações não lineares	149
Resolução de equações polinomiais	149
Emprego do Solver para resolver a equação de Mitscherlich	152
Modelo hiperbólico	154
Emprego do Solver para resolver um modelo logístico	157
21. Emprego do Modelo Hiperbólico como Ferramenta de Predição de Perda de Produtividade por Matocompetição	
Modelo hiperbólico	161
Estimativa das perdas de produtividade a partir dos coeficientes de incremento de perda de produtividade (I)	162
22. Análise Econômica de Dados de um Experimento de Curva de Resposta	
Ajuste de uma equação polinomial usando análise de linha de tendência	167
Obtenção da equação de retorno econômico ótimo	168
Resolução da derivada	169
Determinação da taxa de semeadura econômica ótima	170
23. Emprego de Derivadas Parciais na Análise Econômica do Efeito da Densidade de Semeadura e das Doses de Nitrogênio na Produtividade	
Resolvendo problemas com duas variáveis independentes.....	173
Definição do problema	173

Desenvolvendo equações de predição	174
Determinando as derivadas parciais	177
Derivando equações econômicas relacionadas a produtividade, insumos e custos	178
Determinando os valores de $\frac{\partial y}{\partial N}$ e $\frac{\partial y}{\partial p}$	178
Determinando a intersecção da derivada parcial.....	179
24. Emprego de Modelos Conceituais e Diagramas Relacionais para Elaborar Modelos Mecanísticos e Determinar as Taxas de Renovação do Carbono Orgânico do Solo	
Cálculo da necessidade de manutenção do carbono orgânico do solo.....	184
25. Cálculo dos Coeficientes de Partição e das Isotermas de Sorção	
Influência da matéria orgânica sobre o coeficiente de partição.....	193
Estudo da sorção pelo emprego das isotermas de Langmuir e Freundlich.....	194
Anexo 1. Informações Agronômicas Básicas	
Estádios fenológicos	197
Estádios fenológicos do milho.....	197
Estádios fenológicos da soja.....	198
Estádios fenológicos do trigo	199
Estádios fenológicos da alfafa.....	199
Desfolhamento da cultura	200
Desfolhamento causado por pragas.....	200
Quantificação da população de pragas: procedimentos básicos na detecção de insetos.....	201
Quantificação da população de pragas: procedimentos para a detecção de plantas daninhas.....	201
Quantificação dos nutrientes no solo: coleta das amostras de solo	202
Quantificação da população de plantas: culturas em linha	202
Estimativa da produtividade de milho	203
Quantificação da população de plantas: culturas em semeadura adensada.....	203
Técnica simples para calibrar um pulverizador	204
Pulverizadores de fertilizantes.....	205
Sementes por área.....	205
Graus-dias acumulados	208
Classes de alguns fertilizantes.....	208
Nutrientes exportados na colheita	209
Propriedades físico-químicas do solo.....	211
Custo de produção.....	212
Anexo 2. Respostas dos Exercícios	213
Anexo 3. Índice Remissivo.....	241