

BALANÇO HÍDRICO DOS SOLOS CULTIVADOS E DISCUSSÃO SOBRE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS AGRÍCOLAS DA SECA.

PIERRE AUDRY\*

INTRODUÇÃO: Nas regiões semi-áridas, a insuficiência das chuvas constitui, por definição o fator limitante essencial da produção agrícola. Isto é o assunto da presente reunião.

Nesta ótica, a exposição a seguir vai examinar alguns meios para responder a dois tipos de perguntas:

- 1) em condições dadas de clima e solo, como escolher - em sequeiro - uma planta e uma data de plantio para a mesma com fim de obter um rendimento conveniente com uma probabilidade determinada.
- 2) em condições dadas de clima, solo, planta e data de plantio, qual é a quantidade de água a ser trazida por uma irrigação de complemento a fim de se libertar totalmente ou até um nível fixado do risco de baixa safra do fato da insuficiência ou da irregularidade das chuvas; assegurando assim uma regularização da produção, e aqui também até um nível determinado de probabilidade.

Essa formulação contém o objetivo procurado: se trata do problema da avaliação das consequências agrícolas da seca a fim de aceita-las ou modifica-las até um nível de risco escolhido.

Os pontos que serão sucessivamente examinados são os seguintes: princípios gerais e base de métodos desse tipo; condições de aplicação no Nordeste Brasileiro; afinal será apresentado a título de ilustração um exemplo - ainda imperfeito e experimental - aplicado às condições locais de Quixeramobim no Sertão Central do Ceará.

PRINCÍPIOS GERAIS DO MÉTODO: O método poderia ser usado para qualquer fator limitante da produção agrícola: temperatura, luz, água. Aqui se trata da água e do balanço hídrico, todos os outros fatores de clima, solo, sanitários serão supostos iguais ao optimum.

Para estabelecer esse balanço hídrico, precisa conhecer as chuvas e a demanda em água das plantas. Uma sequência de dados pluviométricos (P) de uma duração suficiente é indispensável para permitir uma análise estatística válida dos resultados: 20 a 30 anos é um minimum; 50 anos ou mais é melhor. Para estimar as necessidades das plantas precisa-se de uma boa estimativa da Evapotranspiração potencial (ETP); esse parâmetro sendo muito menos variável do que as chuvas, tem-se costume

---

(\*) O.R.S.T.O.M./U.F.C.

Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia da Universidade Federal do Ceará.

Palestra apresentada na SUDENE, em RECIFE, no dia 20 de maio de 1980, na ocasião da Exposição "Maîtrise de l'eau en zone semi-aride".

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

Nº : 28761, ex 1

Cote : B

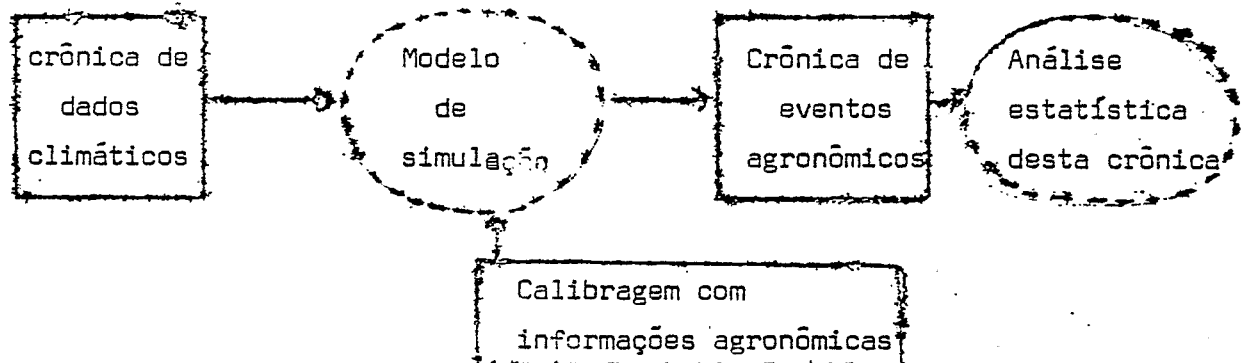
(que nos parece muito otimista) de se satisfazer com uma série de dados climáticos completos de uma dezena de anos.

O método consiste em aplicar aos elementos do balanço (P, ETP) um modelo que vai exprimi-los em consequências agronômicas: esse modelo poderá ser mais ou menos sofisticado ou esquematizado em função do grau dos conhecimentos teóricos a respeito dos processos, em função dos dados disponíveis, dos meios de modelização à disposição, etc. No presente caso, poder-se-a limitar a estimar um grau global de satisfação das necessidades da planta apenas do ponto de vista de um balanço simples ou tentar uma avaliação da produção agrícola em função da dinâmica dessa alimentação hídrica todo ao longo do ciclo.

A partir da sequência de dados pluviométricos, é possível simular com o modelo uma sequência correspondente de eventos agronômicos que nos interessa: isto é, uma estimativa das condições de alimentação hídrica da planta. É bom nesse ponto, dispor de informações agronômicas suficientes para verificar a validade do modelo e se for possível calibrá-lo.

A análise estatística então, pode ser praticada sobre os eventos agronômicos resultando dessa simulação; isso constitui a originalidade do método que lhe confere a confiabilidade: para estudar as consequências agrícolas da seca, a análise estatística não é feita com os dados climáticos: seria difícil exprimir os resultados de uma análise assim realizada em termos agronômicos; mas sim sobre essas consequências agrícolas que - mesmo simulados - respeitam toda a diversidade das condições reais de alimentação hídrica dos anos sucessivos.

Afinal a esquematização do método é a seguinte:



Esse método não é nova: por exemplo é de um uso comum em hidrologia; mais surpreendentemente foi quase não usado na agronomia até uma dezena de anos atrás, quando um pesquisador francês P. FRANQUIN, começou a aplicá-lo com sucesso nas zonas tropicais da África e a desenvolver uma série de modelos cada dia mais úteis nessas regiões.

CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO AO NORDESTE BRASILEIRO: O Nordeste Brasileiro apresenta uma irregularidade pluviométrica muito importante, muito mais importante do que aquela que se observa nas regiões semi-áridas da África. Por essa razão certos modelos desenvolvidos lá, não se aplicam aqui facilmente: alguns necessitam adaptações; e parece indispensável conceber novos modelos a fim de responder aos problemas específicos das regiões nordestinas.

O exemplo de aplicação apresentado abaixo deve ser colocado nesse contexto: se trata de um trabalho empreendido na Universidade Federal do Ceará, ainda em curso de realização. A esse respeito, chega a oportunidade de insistir sobre um ponto: os tipos de resultados apresentados são uma ilustração do método e do que pode ser esperado com esses modelos; mas no estágio atual é apenas uma apresentação metodológica e os resultados não devem ser considerados em valor absoluto: estamos melhorando a estrutura do modelo, certos dados como a ETP e certos parâmetros do modelo como o espaço de tempo devem ser reconsiderados; em resumo a significação dos resultados a seguir é qualitativa e relativa, correspondente a uma fase ainda experimental.

#### EXEMPLO DE UM MODELO DE SEQUEIRO:

##### 1. Descrição do modelo de simulação.

O modelo de simulação é um programa escrito em linguagem FORTRAN.

As entradas se relacionam com: o clima, o solo, a planta. Elas são:

- as chuvas
- a ETP com que se calculam as necessidades de água da planta, usando um coeficiente específico  $K_c$ .
- a planta é caracterizada com o comprimento do ciclo e das fases que o constituem. Uma série de coeficientes  $K_c$  permite de calcular tudo ao longo do ciclo as necessidades da planta (chamada aqui por evapotranspiração maximal ETM):  $ETM = K_c \cdot ETP$
- o reservatório útil do solo RU: esse parâmetro é diretamente função da capacidade de armazenamento em água do solo. Mas apenas a parte desse reservatório efetivamente ocupado pelas raízes das culturas deve ser tomado em conta. O modelo esquematiza essa evolução do reservatório utilizável com o crescimento da planta desde um valor inicial até um valor final RU.

A função específica do modelo consiste em examinar as condições de satisfação das necessidades hídricas da planta durante seu ciclo, para pequenos intervalos de tempo sucessivos de N dias (no exemplo apresentado  $N = 10$ , o que aparece demais para uma modelização fiel da realidade). Esse trabalho é feito aplicando para cada passo de tempo sucessivamente, a equação clássica do balanço hídrico:

$$P = S + E + D (+ R) \quad \text{ou} \quad E = P - D - S (- R)$$

Com  $P =$  chuvas

$E =$  evapotranspiração

$S =$  variação do estoque da água

$D =$  drenagem

no reservatório utilizável

$R =$  escoamento, suposto nulo

Para cada intervalo a equação é aplicada em dois tempos:

- a chuva do intervalo é suposta cair de só uma vez no início do passo: essa quantidade de água é estocada no solo no limite da capacidade disponível do reservatório utilizável; o excesso eventual é drenado, fora do alcance das raízes; para essa primeira fase instantânea a equação parcial é:  $S = P - D$
- durante o espaço de tempo a propriamente falado, a planta tira água para cobrir as suas necessidades, no limite da quantidade presente no reservatório utilizável:  $E = - S$

	DECE			JANV			FEBR			MARS			AVRIL			MAY			JUNIN			JULII			AUGT			SEPT			OCTO			NOVE			TA
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1/12-13																																			7		
2/13-14																																			6		
3/14-15																																			6		
4/15-16																																			6		
5/16-17																																			10		
6/17-18																																			6		
7/18-19																																			6		
8/19-20																																			4		
9/20-21																																			3		
10/21-22																																			3		
11/22-23																																			1		
12/23-24																																			1		
13/24-25																																			4		
14/25-26																																			4		
15/26-27																																			3		
16/27-28																																			0		
17/28-29																																			0		
18/29-30																																			0		
19/30-31																																			0		
20/31-32																																			0		
21/32-33																																			2		
22/33-34																																			3		
23/34-35																																			5		
24/35-36																																			2		
25/36-37																																			1		
26/37-38																																			1		
27/38-39																																			4		
28/39-40																																			4		
29/40-41																																			0		
30/41-42																																			0		
31/42-43																																			0		
32/43-44																																			2		
33/44-45																																			2		
34/45-46																																			4		
35/46-47																																			3		
36/47-48																																			3		
37/48-49																																			3		
38/49-50																																			1		
39/50-51																																			0		
40/51-52																																			0		
41/52-53																																			0		
42/53-54																																			0		
43/54-55																																			0		
44/55-56																																			0		
45/56-57																																			0		
46/57-58																																			0		
47/58-59																																			0		
48/59-60																																			0		
49/60-61																																			0		
50/61-62																																			0		
51/62-63																																			0		
52/63-64																																			0		
53/64-65																																			0		
54/65-66																																			0		
55/66-67																																			0		
56/67-68																																			0		
57/68-69																																			0		
58/69-70																																			0		
59/70-71																																			0		
60/71-72																																			0		
61/72-73																																			0		
62/73-74																																			0		
63/74-75																																			0		
64/75-76																																			0		
65/76-77																																			0		
66/77-78																																			0		

ICIAUX 0 0 1 1 4 9 17 23 30 23 19 12 6 1 0  
 EPICU 0-0 1.4 5.7 27.0 22.4 47.6 50.2 9.5 0.0  
 PAR 0.0 0.0 1.6 14.0 36.0 22.4 36.0 19.0 1.0 0.0  
 LIT 0.0 0.0 1.6 14.0 36.0 22.4 36.0 19.0 1.0 0.0  
 ACUMRE PUYER ANN DE POSSIBILITES = 3.30  
 (EPI-21) 2.90

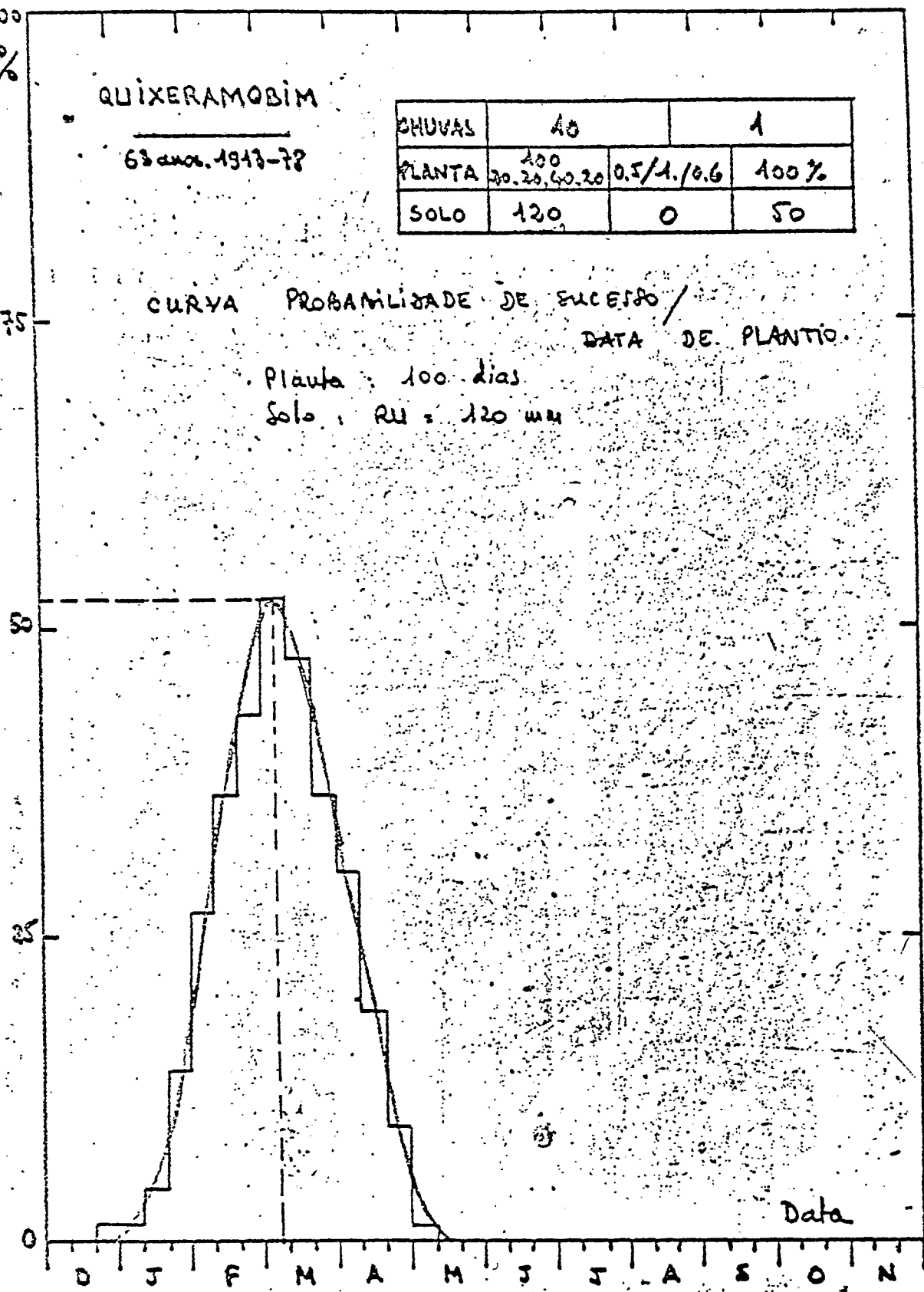
QUIXERAMOBIM

63 anos. 1918-78

CHUVAS	40	1	
PLANTA	100 20, 25, 40, 20	0.5/1/0.6	100%
SOLO	120	0	50

CURVA PROBABILIDADE DE SUCESSO / DATA DE PLANTIO.

Planta : 100 dias  
Solo : RU = 120 mm



Aqui se destaca a importância desse reservatório utilizável do solo, que constitui o armazenamento permitindo uma alimentação hídrica contínua das plantas a partir do abastecimento descontínuo pelas chuvas.

O modelo não simula a dinâmica da extração da água; ele verifica se existe no reservatório utilizável do solo a quantidade correspondente às necessidades da planta do momento. No caso afirmativo, essa quantidade extraída e o passo seguinte é abordado. Quando assim, as necessidades da planta forem totalmente satisfeitas tudo ao longo do ciclo, a alimentação hídrica será estimada perfeitamente assegurada e o modelo concluirá um caso de sucesso. Ao contrário quando, a qualquer momento do ciclo acontecer que as necessidades não poderão ser satisfeitas, o ciclo será suposto interrompido; os cálculos serão parados; o modelo concluirá o fracasso.

Em conclusão, esse modelo baseia-se sobre uma esquematização simplificada de balanço hídrico; em particular ele supõe sistematicamente que o consumo da planta ou evapotranspiração real (ETR) é sempre igual a ETM sob a condição que a quantidade correspondente de água seja no solo; na realidade a taxa de extração da água decresce a medida que o reservatório do solo se esvazia e que a matriz do solo desenvolve forças de ligação mais importantes.

Além disso, é um modelo que testa apenas as condições de uma alimentação hídrica; o sucesso é definido como uma alimentação sem nenhuma falta; qualquer deficiência é considerada como fracasso.

Na segunda geração de modelo que estamos preparando, os casos intermediários são previstos e avaliados com a redução da ETR conseqüente; assim, os déficits também são calculados, susceptíveis de servir de base para a avaliação das necessidades de irrigação de complemento.

## 2. Exemplo de resultados de simulações.

Para uma planta e um solo determinados (na tabela junta uma planta de 100 dias e um solo de 120 mm de RU), as simulações consistem a examinar a cada ano, as condições de alimentação hídrica da planta, testando uma série de datas de plantio possíveis, aqui também escalonadas de 10 em 10 dias sobre o período de estudo.

Quando, para a data de plantio considerada, a alimentação hídrica é inteiramente realizada para o ciclo completo (caso de sucesso) um asterisco (\*) é imprimido na coluna dessa data; no caso contrário será um travessão (-). Para os  $n$  anos da seqüência climatológica, é elaborada uma tabela de sucesso/fracasso da cultura em função das datas de plantio.

Na base dessa tabela, os totais dos casos de sucesso são calculados e transformados em frequências que vão ter significação de probabilidade de sucesso em função da data de plantio.

É fácil traçar a curva correspondente que fornece imediatamente a data de plantio ótima e a probabilidade de sucesso associada, para o solo e a planta considerados (fig. 1).

## 3. Algumas possibilidades de aplicação do método:

As possibilidades de utilização são numerosas; apenas alguns serão evocados aqui:

- escolha de uma data de plantio em condições dadas de clima, solo, planta: é o problema que o agricultor deve enfrentar cada ano.

Para a tabela apresentada, a data de plantio ótima cai nos dez primeiros dias de março com uma probabilidade de sucesso de 52%. É interessante constatar que se o agricultor aplicar essa regra com uma variação de  $\pm 10$  dias, com bom senso e clarividência, ele pode esperar uma probabilidade até 65%.

Mas também é preciso testar uma contra-prova: o que fazer se acontece boas condições de plantio cerca do dia 20 de janeiro? o modelo indica categoricamente não plantar e esperar mais um mês.

- Para o agrônomo ou o planejador, esse método permite de escolher plantas adaptadas às condições diversas de solo e de clima. Assim limitando o exemplo à vários solos (com o clima de Quixeramobim) se pode constatar que para atingir uma probabilidade de sucesso de 60% uma planta de 100 dias poderá ser escolhida com um solo de 150 mm de RU; mas uma planta de apenas 70 dias com um solo de 90 mm de RU (fig. 2).

- na mesma ordem de ideias, é possível avaliar para várias condições o risco de seca agrícola considerada como um constrangimento do meio:

\* em condições estandarizadas ou comparáveis de solo, será uma estimativa do constrangimento agro-climatológico.

\* com variações de solos, se tratará de uma estimativa de constrangimento agropedo-climatológico.

- afinal, modelos desse tipo podem ser usados para seguir e avaliar a evolução das condições de alimentação hídrica ao decorrer de um ciclo agrícola. Esta e a gravidade de secas eventuais é uma possibilidade interessante; ela pode tornar ainda mais eficaz para fazer advertência agrícola, avisando por exemplo da necessidade de realizar irrigação de complemento... etc.

#### EM MANEIRA DE CONCLUSÃO: DISCUSSÃO SOBRE OS LIMITES E CONDIÇÕES DE EFICIÊNCIA DO MÉTODO.

Uma característica do método é provavelmente de ser evolutivo. Ele permite de integrar novos conhecimentos fornecidos pela pesquisa e numa modelização um pouco sofisticada da alimentação hídrica das plantas cultivadas sempre ficam pontos susceptíveis de melhoramento.

Mas no atual, os limites essenciais são a insuficiência dos dados cujo o modelo supõe a integração: dados e parâmetros a entrar no modelo, e outras informações indispensáveis para fazer a calibragem. Porquanto, a rigor, para estabelecer comparações de situações assim, como ordenar constrangimentos em casos simples, pode ser aceitado de dispor de resultados enviesados e apenas relativos; mas para determinar valores absolutos (data de plantio, probabilidade de sucesso associadas, necessidades de irrigação de complemento), precisa obrigatoriamente de introduzir dados e parâmetros mais exatos; e visto que o modelo sempre é uma esquematização da realidade também uma calibragem a partir de observações agronômicas é indispensável.

No Nordeste Brasileiro existem dados pluviométricos numerosos e disponíveis; mas existe pouco e as vezes nada a respeito da ETP, das necessidades específicas das variedades de plantas cultivadas, da capacidade de estocagem em água dos solos sob diversas plantas; provavelmente existem dados agronômicos, mas de uso difícil para a calibragem a posteriori de um modelo.

Parece que no atual, modelos desse tipo já podem ser proveitosamente usados, mas que uma melhora da sua eficiência pode ser razoavelmente esperada de uma coleta de todos os dados complementarios às chuvas e com a melhor integração possível.