

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Departamento de Zootecnia

Economia básica para os cursos de graduação em Zootecnia,
Engenharia de Alimentos e Engenharia de Biossistemas.

Textos de apoio para as disciplinas

ZAZ0312 – ANÁLISE ECONÔMICA DA AGROPECUÁRIA

ZAZ0763 - ECONOMIA

ZAZ1036 - ECONOMIA APLICADA À ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

Prof. Rubens Nunes
rnunes@usp.br

Pirassununga, fevereiro de 2012

5. Teoria da firma: tecnologia e função de produção

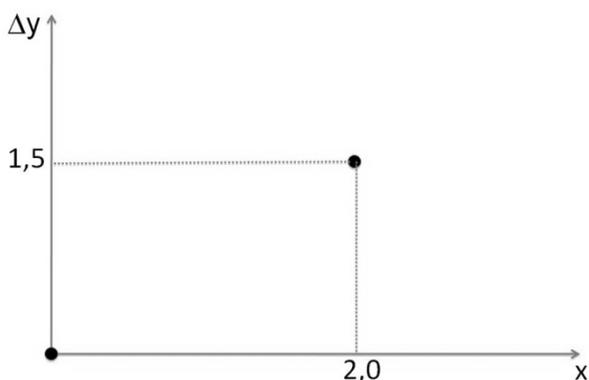
5.1. Um exemplo para colocar o problema da firma

A firma, na teoria econômica básica, é a organização que produz bens e serviços. Para introduzir uma descrição do processo de produção, vamos considerar um exemplo extraído de um experimento zootécnico.

DERESZ (2001) estudou os efeitos da suplementação da pastagem de capim-elefante com concentrado sobre a produção e composição do leite e variação de peso vivo de vacas mestiças Holandês x Zebu. Os tratamentos foram: sem concentrado (SC) e com 2,0 kg de concentrado/vaca/dia (CC).

“A diferença média durante o período experimental foi de 1,5 kg de leite entre o tratamento com 2,0 kg de concentrado por vaca/dia e sem concentrado, respectivamente.”¹

O Gráfico representa a informação: Δy é o acréscimo à produção de leite por vaca / dia; x é a quantidade de suplemento oferecida por vaca / dia.



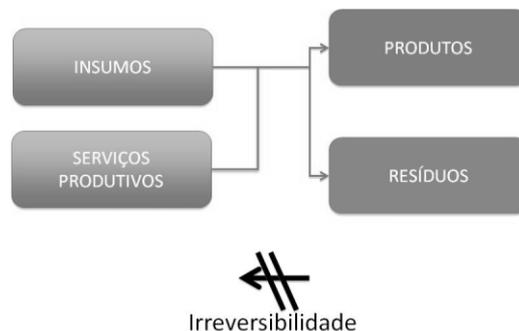
É preferível ter 1,5 kg de leite por vaca por dia a mais a não ter essa quantidade. Do ponto de vista econômico, contudo, a questão é: quanto custa produzir, e quanto vale, esse 1,5 kg a mais de leite por vaca por dia?

Vamos considerar de início apenas as duas alternativas designadas no estudo como sem concentrado (SC) e com 2,0 kg de concentrado/vaca/dia (CC). Vale a pena dar 2 kg de concentrado por vaca por dia? A resposta é: depende dos preços do concentrado e do leite. Se o preço de 1,5 kg de leite for maior que o preço de 2 kg de concentrado, então o tratamento CC proporcionará ao produtor resultado melhor que o tratamento SC. Ao contrário, se o preço de 1,5 kg de leite for menor que o preço de 2 kg de concentrado, então será mais lucrativo não dar o concentrado. Obviamente, se tivermos uma igualdade entre esses valores, o produtor seria indiferente a dar o concentrado ou não, pois os dois tratamentos dariam o mesmo resultado econômico. Contudo, não sabemos, com a informação disponível, qual é a quantidade ótima de concentrado a ser oferecida às vacas leiteiras. Para analisar esse problema, vamos estudar o processo de produção do ponto de vista econômico.

¹ Deresz, F. “Produção de Leite de Vacas Mestiças Holandês x Zebu em Pastagem de Capim-Elefante, Manejada em Sistema Rotativo com e sem Suplementação durante a Época das Chuvas” Rev. Bras. Zootec. vol.30 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2001

5.2. O processo de produção

O processo de produção é uma atividade que transforma insumos em produtos e resíduos, por meio do emprego de serviços produtivos. A diferença entre produtos e resíduos refere-se ao valor atribuído aos resultados físicos do processo de produção. Resíduo é um produto (no sentido de que foi produzido) sem valor de mercado.



Os insumos são bens que são consumidos ou destruídos no processo de produção, para fornecer matéria ou energia necessárias para a obtenção dos produtos. Os serviços produtivos são prestados por fatores de produção que participam do processo produtivo, mas não transferem massa para os produtos. Em geral, os fatores de produção que prestam serviços produtivos são o trabalho, a terra e o capital fixo.

Uma característica essencial do processo de produção é a irreversibilidade, associada à segunda lei da Termodinâmica. O princípio da entropia diz que em um sistema isolado, a quantidade de energia útil, isto é, que pode ser utilizada para produzir trabalho, diminui ao longo do tempo. As moléculas de um gás tendem a ocupar todo o volume do recipiente que as contém, não se acumulando em determinada região. O calor é transmitido espontaneamente de um corpo mais quente para um corpo mais frio, mas o contrário não ocorre. Uma consequência do princípio da entropia é a impossibilidade do moto perpétuo. Em toda transformação de energia, ocorre alguma dissipação. A entropia é uma medida da organização de um sistema: quanto mais alta, mais desorganizado e indiferenciado é o sistema.

Organismos vivos alcançam um estado de baixa entropia com relação ao ambiente, apesar do ininterrupto e inexorável aumento da entropia. Seres vivos consomem matéria e energia, como alimentos ou fótons com alta energia disponível para convertê-los em trabalho mecânico ou biomassa, com baixa eficiência. Ocorre que organismos vivos são sistemas abertos, contidos em sistemas mais amplos. O Universo, por definição é um sistema isolado. A Terra é um sistema fechado, que recebe energia do Sol e dissipa energia para o espaço.

A baixa entropia dos seres vivos é obtida com uma elevação da entropia do sistema em que vive o referido ser. A atividade dos seres vivos acelera o crescimento da entropia.

Todo e qualquer recurso transformado pela atividade econômica termina como resíduo e tem potencial para degradar o meio ambiente. O processo pode ser retardado por meio da recuperação de materiais, mas não interrompido [...] a

habilidade da natureza em converter recursos em outras formas de matéria e energia é limitada.²

O conceito de que o ecossistema provê serviços tem sido difundido crescentemente, como uma forma de expressar a dependência da sociedade em relação a sistemas ecológicos de suporte à vida. No início do século XIX, em plena Revolução Industrial, Ricardo observou que a natureza, controlada pela tecnologia, presta serviços produtivos que ele julgava inesgotáveis:

Com uma determinada quantidade de materiais, e com a ajuda da pressão da atmosfera, e da elasticidade do vapor, os motores podem executar trabalho e abreviam o trabalho humano a uma extensão muito grande, mas nenhum preço é pago para a utilização destas ajudas naturais, porque são inesgotáveis, e à disposição de cada homem.³

Toda a produção tem sua base material no meio ambiente (ver seção 1.5). São condições necessárias para a utilização dos recursos naturais, em qualquer nível de sofisticação da tecnologia, (i) um modelo mental (apoiado na ciência ou não) que represente o fenômeno de interesse; (ii) instrumentos de interface com o ambiente; e (iii) informação sobre o estado do ambiente e dos instrumentos. Além disso, quem desencadeia o processo produtivo precisa ter capacidade de processar as informações relevantes.

Consideremos um exemplo simples: o pilão, usado para descascar arroz ou moer grãos de milho. O pilão é composto de um recipiente de madeira, geralmente um pedaço de tronco escavado, e de uma peça, geralmente de madeira, de extremidade rombuda ou arredondada, que é lançada com o auxílio da gravidade contra os grãos contidos no recipiente. Para empregar um pilão é preciso (i) saber que o impacto da massa de madeira é capaz de separar as cascas do grão de arroz, ou de quebrar os grãos de milho até que eles se tornem aptos para o consumo; saber que é possível separar posteriormente as cascas do grão de arroz ou os pedaços maiores que restarem no milho triturado; (ii) dispor do pilão e do grão a ser processado; (iii) saber como usar o pilão⁴; saber o momento adequado de usar o instrumento; reconhecer quando o produto está adequado para o consumo; etc. Observe que a força empregada provém dos músculos das pessoas, que elevam a “mão” do pilão e a soltam sobre o grão; a gravidade apenas “devolve” a energia recebida. Mesmo assim, a eficiência do processo é maior do que se o operador pressionasse os grãos com a massa de madeira.

O pilão pode ser acionado somente pela força da gravidade, no monjolo, formado por uma haste de madeira suspensa, na qual estão fixados em uma extremidade o pau do pilão e, na outra, um cocho que se enche com água vinda de uma calha. Quando o cocho se enche, o pilão se levanta e, com a inclinação do cocho, a água é derramada. A haste se desequilibra e o pau do pilão cai sobre o produto contido no pilão. O modelo mental subjacente à construção do monjolo envolve tudo o que é necessário para a construção do pilão, mais algumas noções práticas de mecânica (alavancas, estática, comportamento dos fluídos, etc.).

A estrutura tecnológica é um conjunto de artefatos complementares que se apóiam mutuamente. No exemplo dado, o recipiente de madeira, as alavancas, a canalização da água, o arroz ou o milho, podem existir e ainda assim não haver um monjolo – é necessário que esses artefatos sejam colocados para funcionar de forma coordenada.

² Thomas, Janet M.; Callan, Scott J. Economia ambiental: fundamentos, políticas e aplicações. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 17

³ David Ricardo. Princípios de Economia Política e Tributação.

⁴ Parece óbvio, mas a humanidade deve ter gasto dezenas de milhares de anos para produzir um simples pilão.

O processo de produção controla⁵ forças e recursos da natureza para transformar insumos em produtos, por intermédio de serviços produtivos dos fatores de produção. Na produção agropecuária a interveniência dos recursos naturais é extremamente significativa, com o controle de um pequeno conjunto das variáveis que caracterizam o estado de sistemas produtivos de elevado grau de complexidade. O agricultor, por exemplo, controla a oferta de nutrientes do solo, verificando sua composição e complementando com fertilizantes artificiais. Alguns organismos presentes no ambiente podem interagir com a cultura de interesse econômico, resultando em maior (por exemplo, a bactéria *Rizhobium* contribuindo para a fixação do nitrogênio na raiz da soja) ou menor produtividade (a bactéria *Xanthomonas axonopodis* causando o cancro cítrico). A oferta hídrica é controlada somente nas culturas irrigadas, e a insolação fica praticamente fora do controle do produtor.

Quanto mais complexa a **tecnologia**, mais amplo é o conjunto de variáveis sobre os quais o produtor tem algum **controle**. Mas o controle demanda **informação** sobre o **estado do sistema** a ser controlado: para utilizar o fertilizante adequado, é preciso ter informação sobre a composição do solo; para não deixar o frango morrer de calor, é preciso monitorar constantemente a temperatura do aviário ... os exemplos são infundáveis. Os sistemas produtivos da agropecuária primitiva demandavam pouca informação, mas, em compensação, utilizavam extensivamente os recursos naturais. A evolução dos sistemas de agricultura e pecuária caminha na direção de um uso intensivo dos recursos naturais, o que demanda de forma crescente a obtenção e o processamento de informações.

5.3. Função de Produção, Produto Médio e Produto Marginal de um Insumo

O raciocínio desenvolvido na primeira seção compara o valor adicionado à produção com o acréscimo dos custos de produção. Se o valor adicionado pelo uso de determinada quantidade de insumo for maior que o custo desse insumo, tal insumo, na quantidade administrada, tem uma contribuição positiva para o resultado econômico da atividade.

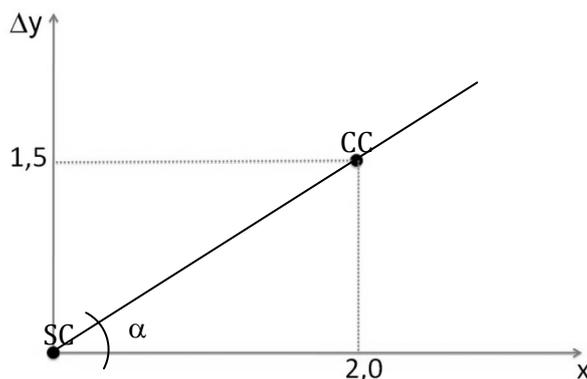
$$p \cdot \Delta y > w \cdot \Delta x \rightarrow \Delta \pi > 0$$

onde p é o preço do produto, Δy é a variação da quantidade de produto, w é o preço do insumo, e Δx é a variação da quantidade de insumo utilizada na produção. A variação do lucro é representada por $\Delta \pi$. Os termos podem ser rearranjados, de modo a evidenciar a relação entre o valor do produto médio do concentrado e o preço do concentrado.

$$p \cdot \Delta y / \Delta x > w \rightarrow \Delta \pi > 0$$

O produto médio de um insumo (ou serviço de fator de produção) é a relação entre a quantidade de produto obtida com o uso de determinada quantidade de insumo e essa mesma quantidade de insumo. Se o valor do produto médio de um insumo for maior que o preço desse insumo, então o insumo dá uma contribuição positiva para o lucro, isto é, utilizar aquela quantidade de insumo aumenta o lucro da atividade produtiva. Trata-se de estabelecer a relação benefício – custo da utilização do insumo: para o lucro aumentar, é preciso que o benefício adicional exceda o custo adicional.

⁵ O verbo controlar vem do Latim, *contr-*, contra + *rotulus*, o diminutivo de *rota*, roda. Na origem, controlar é mudar o curso espontâneo (ou natural) das coisas.



O coeficiente angular da reta que passa pelos pontos SC e CC, isto é, a tangente do ângulo α , corresponde ao produto médio do concentrado.

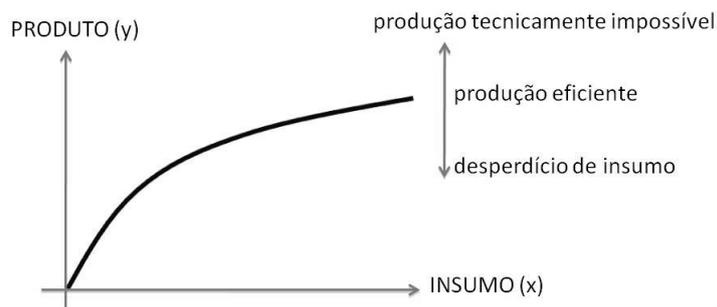
No exemplo citado da suplementação das vacas leiteiras do experimento, o produto médio do concentrado foi de 0,75 kg de leite / kg de concentrado por vaca por dia. Para descobrir se é vantajoso oferecer o suplemento na dose indicada, é preciso conhecer os preços do leite e do suplemento. A suplementação só será lucrativa se o preço do leite for maior que $4/3$ do custo do suplemento. Se o preço do leite for menor que $4/3$ do preço do suplemento, será mais lucrativo não utilizar o suplemento e produzir uma quantidade menor de leite por vaca. A única conclusão a que podemos chegar é se, dados os preços do leite e do suplemento, é mais lucrativo dar os 2 kg de suplemento/vaca/dia ou é mais lucrativo deixá-las só com o pasto. Não sabemos, com a informação disponível, se seria mais lucrativo aumentar ou diminuir a suplementação.

O produtor poderia se perguntar o que aconteceria com a produção de leite se ele desse 1,0 kg de concentrado por vaca por dia. Ou 0,5 kg, ou 1,2 kg ... Enfim, qual é a quantidade ótima de concentrado, isto é, aquela quantidade que maximiza o lucro do produtor. Não há nenhuma razão para supor que o produto médio do insumo seja constante: se fossem dados 6 kg de concentrado por vaca por dia, será que seriam produzidos 4,5 kg de leite por vaca dia a mais? Provavelmente não. Mais cedo ou mais tarde serão atingidos os limites da capacidade que a vaca tem para metabolizar o alimento e transformá-lo em leite. É possível que os primeiros 100 gramas (de 0g a 100g) de suplemento tenham um efeito sobre a produção de leite mais intenso que os últimos 100 gramas (de 1900g a 2000g).

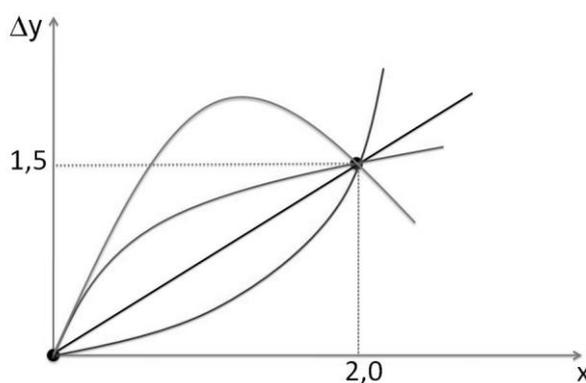
Se ao invés de dois, fossem testados muitos tratamentos no experimento sobre a suplementação na nutrição de vacas leiteiras, poderia ser estimada uma função contínua que relacionasse o suplemento oferecido ao incremento do leite produzido. Tal função é conhecida como a função de produção. Na função de produção a variável dependente é a quantidade de produto obtida (kg de leite/vaca/dia), ao passo que as variáveis independentes são as quantidades de insumos e serviços produtivos empregados na produção. No exemplo, o leite não foi obtido apenas do suplemento, mas também da matéria orgânica que os animais ingerem no pasto, da água, dos medicamentos, do trabalho, etc. No experimento, todos os insumos, fora o suplemento, foram constantes, isto é, são iguais nos dois tratamentos. O suplemento é o único insumo variável.

A função de produção informa qual é a maior quantidade de produto que pode ser obtida de determinada quantidade de insumo. Invertida, informa qual é a menor quantidade de insumo

necessária para se produzir determinada quantidade de produto. Em consequência, a função de produção traz as combinações de insumo e produto tecnicamente eficientes.



A dificuldade é que não conhecemos a função de produção, que poderia assumir diferentes formas:



A estimativa da função de produção é empírica⁶, isto é, é preciso informação sobre animais reais submetidos a muitos tratamentos diferentes. Imagine que fossem testados 20 tratamentos diferentes, com variações de 100 gramas de suplemento por vaca por dia. Cada “dose” de suplemento terá provavelmente um produto médio diferente, possivelmente decrescente a partir de certa quantidade de suplemento. Imagine agora que fizéssemos 200 tratamentos com variações de 10 gramas, ou 2000, com variações de 1 grama.

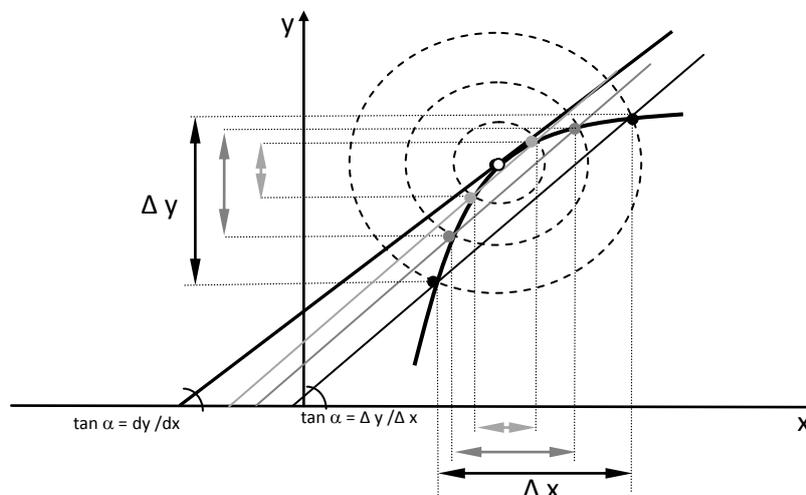
O limite do produto médio de um insumo quando a variação da quantidade de insumo tende a zero, ou seja, quando a variação da quantidade do insumo é infinitesimal, é conhecido como o **produto marginal** do insumo, definido para cada quantidade do insumo.

$$\text{Produto Marginal}_i = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_i}$$

Tomemos um ponto do gráfico da função de produção. Centrado nesse ponto, vamos construir “bolas” sucessivamente menores. Cada bola define um intervalo no domínio da função, dado pelas intersecções da fronteira da bola com o gráfico da função. Esses intervalos representam o domínio em que a quantidade de insumo varia e são designados por Δx (a diferença entre a

⁶ Muitas vezes o adjetivo “empírico” é empregado para qualificar uma prática sem fundamento em teoria ou que não segue um método. Aqui, não é esse o uso da palavra: afirmamos que a estimativa depende de dados obtidos de observações do fenômeno de interesse, da experiência sensível. Do grego, εμπειρία, experiência.

maior e a menor quantidade de insumo no intervalo). A imagem do intervalo Δx é o intervalo Δy .



A medida que o raio da bola vai diminuindo, o tamanho de Δx também diminui. A inclinação (coeficiente angular) da reta que passa pelos pontos em que a função de produção corta a fronteira da bola é o produto médio do insumo. Quando Δx tende a zero, o produto médio converge para o produto marginal, que é dado pela inclinação da reta tangente à função de produção no ponto escolhido.

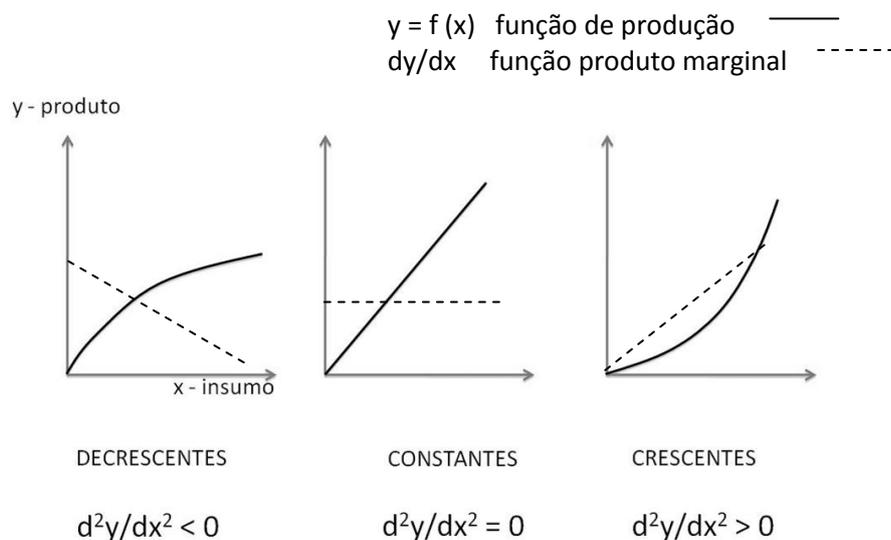
O produto marginal é obtido a partir da função de produção e é empregado para determinar a quantidade economicamente ótima do insumo, isto é, a quantidade de insumo que maximiza o lucro do produtor.

5.4. Rendimentos de um insumo ou fator de produção

O rendimento de um insumo é o seu produto marginal, isto é, a resposta na quantidade produzida a um pequeno aumento (na margem) na quantidade do insumo, mantidos todos os demais insumos e fatores de produção constantes. O produto marginal depende, na maior parte dos casos, da quantidade de insumo utilizada. O efeito de mais 100 g de suplemento por vaca / dia na produção de leite será diferente em uma vaca que não recebe suplemento algum e em uma vaca que recebe 2 kg de suplemento ao dia.

Quando o produto marginal diminui com o aumento da quantidade de insumo empregada, dizemos que o insumo apresenta **rendimentos decrescentes**. Como os demais fatores de produção são mantidos constantes, os rendimentos decrescentes são freqüentes na agropecuária: é possível obter mais leite aumentando o número de vacas, a área de pastagem, a suplementação, etc. Quando falamos do rendimento de um fator, supomos que esse é o único fator variável. Então, com o mesmo número de vacas, é possível aumentar a produção de leite por meio da suplementação, mas os aumentos vão ser sucessivamente menores a medida que quantidades maiores de suplemento forem sendo oferecidas para as vacas existentes.

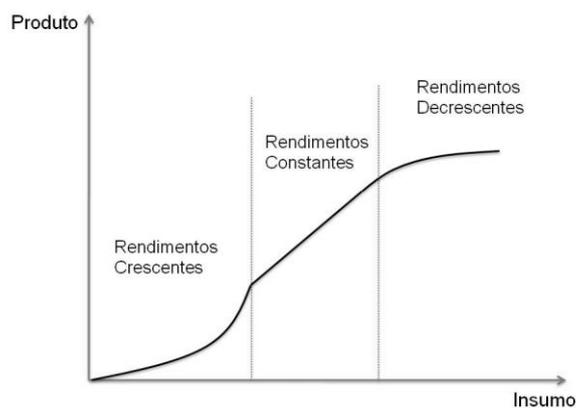
Rendimentos do insumo ou fator de produção (x)



Nos casos em que o produto marginal se mantém constante, dizemos que o insumo exibe rendimentos constantes. Rendimentos crescentes ocorrem quando a resposta da produção é mais do que proporcional ao incremento da quantidade de insumo. Em geral, ocorrem nas situações em que a oferta do insumo é muito baixa, de modo que qualquer acréscimo traz um benefício proporcionalmente grande.

Não é necessário que uma função produto marginal seja monotônica, ou em outros termos, que os rendimentos sejam os mesmos ao longo de todo o domínio da função de produção. O Gráfico abaixo mostra um exemplo de função de produção em que os rendimentos do insumo são crescentes para pequenas quantidades do insumo, tornando-se constantes e, finalmente, decrescentes, à medida que se intensifica o uso do insumo.

Função de produção com rendimentos variáveis



É importante esta hipótese de que diminui a produtividade física marginal do fator variável usado com um ou vários fatores fixos, porque esse conceito sempre teve seu lugar na Economia. Antigamente se conhecia como a "lei dos rendimentos decrescentes" [...] Pode-se enunciar assim a "lei dos rendimentos decrescentes": o aumento da quantidade do fator variável adicionado ao fator fixo causa, em geral,

*um aumento proporcionalmente menor na quantidade do produto, dentro de dadas condições técnicas.*⁷

A chamada “lei dos rendimentos decrescentes” é, muitas vezes, mal interpretada. Algumas pessoas a tomam como uma espécie de lei da Física, que vale sempre e em todas as circunstâncias. De fato, os rendimentos são características da tecnologia empregada. Na análise levada a cabo até aqui, o rendimento decrescente aparece porque alguns fatores de produção estão disponíveis em quantidades limitadas para a firma. Você pode aumentar a produção de milho em um hectare de terra por meio do uso mais intensivo do trabalho, de fertilizantes, de água, de sementes melhoradas, etc., porém os acréscimos à produção serão cada vez menores, pois a produção está confinada a um hectare. Os rendimentos poderiam ser diferentes se pudéssemos modificar as quantidades de todos os insumos ao mesmo tempo.

- Para discutir: qual é a interpretação de um valor negativo para o produto marginal de um insumo?
- Porque a hipótese de rendimentos decrescentes é plausível quando assumimos alguns fatores de produção fixos?

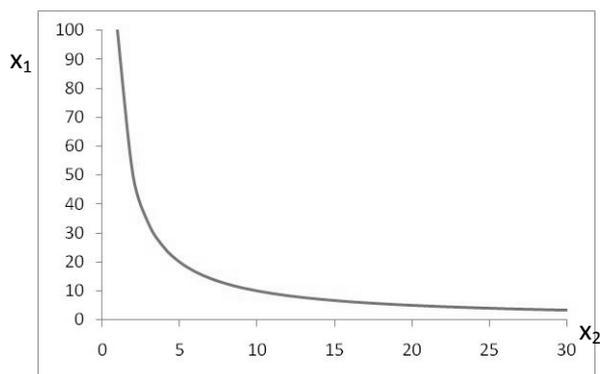
5.5. Complementos perfeitos, substitutos perfeitos e substitutos / complementos imperfeitos

Quando são usados na produção dois ou mais insumos variáveis, surge o problema de se encontrar a cesta de insumos que permite produzir determinada quantidade de produto ao menor custo possível. Para se enfrentar esse problema, é preciso saber se os insumos em questão são complementos perfeitos, substitutos perfeitos ou apresentam ao mesmo tempo substitutibilidade e complementaridade imperfeitas.

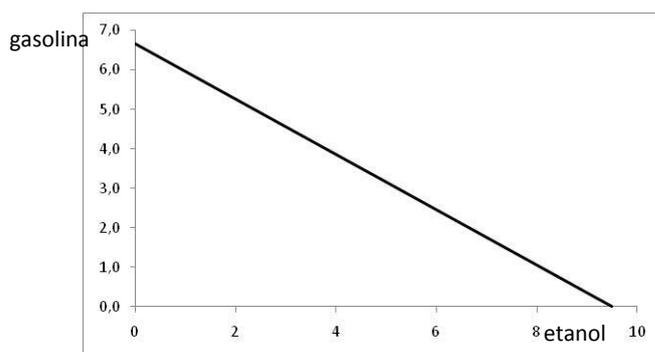
Para caracterizar as relações entre dois insumos, vamos analisar a função de produção, atribuindo a ela um valor constante, isto é, uma quantidade produzida invariável, e mapear as diferentes possibilidades de produzir aquela quantidade, utilizando-se os insumos em diferentes combinações. O mapa das diferentes possibilidades de se produzir determinada quantidade de produto chama-se **isoquanta**.

Considere a função de produção $y = x_1^{0,5} x_2^{0,5}$ e façamos $y = 10$. As quantidades do insumo 1 e do insumo 2 (x_1 e x_2 , respectivamente) ficam definidas implicitamente como funções uma da outra: $x_1 = 100 x_2^{-1}$; $x_2 = 100 x_1^{-1}$. O Gráfico mostra a isoquanta correspondente: observe que sem qualquer um dos dois insumos, é impossível fazer qualquer quantidade do produto (de modo que os dois insumos apresentam certa complementaridade), e que quanto menor a quantidade de um dos insumos, maior a quantidade do outro insumo, necessária para manter a produção no mesmo nível (então, os insumos também apresentam certa substitutibilidade).

⁷ Stonier, A. W.; Hague, D. C. Teoria Econômica. Zahar Editores: Rio de Janeiro, 1965. p. 255. O autor remete o enunciado da “lei” ao clássico *Principles of Economics*, de Alfred Marshall.



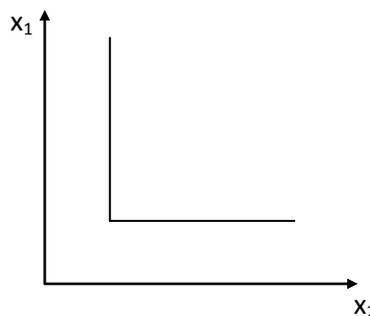
Dois insumos substitutos perfeitos apresentam isoquantas lineares⁸. Um exemplo é o etanol e a gasolina usados como combustível de automóveis *flex*. O produto, no caso, é o deslocamento do veículo. Uma isoquanta para um percurso de 100 km seria dada pela equação: $100 \text{ km} = x_{\text{etanol}} \text{ l} \cdot 10,5 \text{ km/l} + x_{\text{gasolina}} \text{ l} \cdot 15 \text{ km/l}$, em que x representa a quantidade do combustível indicado no subscrito, que é multiplicada por um coeficiente técnico de transformação.



Há insumos que são complementos perfeitos: a produção se dá com proporções fixas dos insumos e não há possibilidade de substituição.



As isoquantas de complementos perfeitos são assim:



⁸ Rendimentos constantes de fatores empregados na produção de um bem implicam em substitutibilidade perfeita. O inverso, porém, não é verdadeiro, como na função de produção $y = \ln(x_1 + x_2)$.

5.6. Taxa Marginal de Substituição Técnica

Exceto no caso de complementos perfeitos, é possível manter a quantidade produzida constante, compensando-se a redução da quantidade de um insumo com o aumento da quantidade do outro insumo. No exemplo do etanol e da gasolina em automóveis bi-combustível, é possível percorrer 100 km consumindo 9,5 l de etanol ou 6,7 l de gasolina, ou ainda qualquer combinação etanol / gasolina, como 4,7 l de etanol e 3,3 l de gasolina, ou ainda qualquer outra combinação das quantidades: para $0 < t < 1$,

$$\text{Mistura} = t \, 9,5 \text{ litros de etanol} + (1 - t) \, 6,7 \text{ litros de gasolina}$$

Nas várias possibilidades de mistura, a taxa de substituição de etanol por gasolina para que se mantenha a mesma distância percorrida é igual a $-10,5 \text{ km/l} / 15 \text{ km/l} = -0,7$. Para cada litro de etanol retirado da mistura será preciso adicionar 0,7 litro de gasolina.

Na margem, a taxa de substituição é

$$\frac{dg}{de} = -\frac{\frac{\partial y}{\partial e}}{\frac{\partial y}{\partial g}} = -\frac{10,5 \text{ km/l}}{15 \text{ km/l}} = -0,7$$

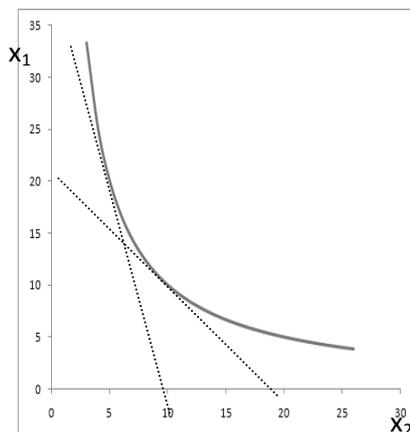
Como se trata de **substitutos perfeitos**, a **taxa marginal de substituição técnica é constante**.

No caso de insumos que são complementos / substitutos imperfeitos, a taxa marginal de substituição técnica não é constante e é dada, em cada ponto da isoquanta, pela inclinação da reta tangente à isoquanta nesse ponto.

Considere a função de produção $y = x_1^{0,5} x_2^{0,5}$. A taxa marginal de substituição do insumo 1 pelo insumo 2 é

$$\frac{dx_1}{dx_2} = -\frac{\frac{\partial y}{\partial x_2}}{\frac{\partial y}{\partial x_1}} = -\frac{0,5 x_1^{0,5} x_2^{-0,5}}{0,5 x_1^{-0,5} x_2^{0,5}} = -\frac{x_1}{x_2}$$

Neste caso, a taxa marginal de substituição depende da quantidade de cada um dos insumos, variando ao longo da isoquanta. Na isoquanta de nível $y = 10$, por exemplo, temos entre infinitos outros, os pontos $(10, 10)$ e $(25, 4)$. A taxa marginal de substituição no primeiro ponto é -1 , ao passo que no segundo é $-6,25$. Observe que há uma relação entre a taxa marginal de substituição e os produtos marginais dos insumos: os insumos são substituídos na razão inversa dos respectivos produtos marginais.



5.7. Curto e longo prazos; economias e deseconomias de escala

Na teoria econômica, curto e longo prazos são conceitos qualitativos: no curto prazo, pelo menos um fator de produção é fixo, isto é, sua quantidade não pode ser alterada pelo produtor. No longo prazo, todos os fatores de produção são variáveis. No curto prazo, o produtor de leite tem fixos, por exemplo, a área de pastagem e o número de vacas. Ele pode decidir a quantidade de insumos variáveis, como o concentrado, oferecido às vacas existentes, influenciando a quantidade produzida de leite. No longo prazo, todos os fatores são variáveis, e o produtor pode escolher a área de pastagem ideal, o número adequado de cabeças, etc.

Se multiplicarmos as quantidades de todos os insumos e serviços de fatores de produção por um número maior que 1, o fator de escala, a produção crescerá, mas não necessariamente na mesma proporção. Há na verdade três possibilidades – o crescimento da produção pode ser mais que proporcional, menos que proporcional, ou proporcional ao fator de escala. Dizemos que a tecnologia exibe **economias de escala** quando o crescimento do produto é mais que proporcional ao crescimento dos insumos e dos serviços de fatores de produção. **Deseconomias de escala** aparecem quando a produção cresce em proporção menor que os insumos e serviços de fatores.

Uma das fontes das economias de escala refere-se a aspectos físicos da tecnologia. Um exemplo simples é o consumo de energia elétrica em tanques de expansão para o resfriamento do leite no estabelecimento agropecuário. Os tanques de maior capacidade consomem menos energia elétrica por litro resfriado. Para pensar de maneira simples esse exemplo, imagine que a troca de calor do tanque com o meio é proporcional à superfície. Em um tanque cúbico de 1 m de aresta, a relação volume / superfície é de $1/6 \text{ m}^3/\text{m}^2$; se dobrarmos o tamanho da aresta, a relação volume superfície passará a $1/3 \text{ m}^3/\text{m}^2$, de forma que o tanque maior perde calor mais lentamente e requer menos energia para manter a temperatura constante.

Com o fator de escala designado por $\lambda > 1$, a tecnologia representada pela função de produção $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ exibirá economias de escala se $y(\lambda \mathbf{x}) > \lambda y(\mathbf{x})$, e deseconomias de escala se $y(\lambda \mathbf{x}) < \lambda y(\mathbf{x})$, em que $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Em termos mais palpáveis, imagine que certas quantidades de insumos e serviços de fatores de produção, como 100 sacas de sementes e 1000 hectares de terra cultivável, pudessem ser alocadas em uma única fazenda ou em duas fazendas. Se a produção da única fazenda for maior do que a produção das duas fazendas somadas, a tecnologia de cultivo está sujeita a economias de escala; caso a produção conjunta das duas fazendas fosse maior que a da fazenda que concentrou todos os insumos, diríamos que a tecnologia apresenta deseconomias de escala.

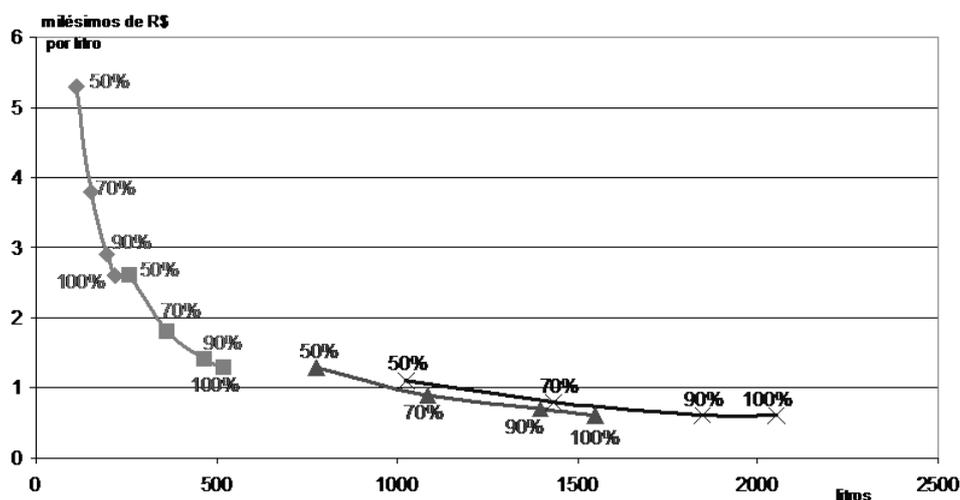
Uma das fontes de economias de escala decorre de certas indivisibilidades na utilização de máquinas e equipamentos. Os tanques de expansão para resfriamento do leite no estabelecimento agropecuário, por exemplo, são fabricados com determinadas capacidades. Se a produção de leite for muito menor que a capacidade do menor tanque, o equipamento ficará subutilizado, e, para uma produção pequena, o estabelecimento incorrerá em custos de capital semelhantes aos de um estabelecimento maior, que utiliza a capacidade plena do equipamento. Além disso, os tanques maiores são mais caros que os menores, mas o preço médio por litro armazenado cai com o aumento da capacidade do tanque.

A operação do tanque também apresenta características que dão origem a economias de escala. Um tanque grande consome por litro de leite resfriado menos energia que um tanque pequeno, e, como mostra o gráfico, o custo decorrente da capacidade ociosa é proporcionalmente menor nos tanques grandes.

Economias de Escala: Custo de tanques de expansão

Capacidade (em l)	Preço unitário (R\$)	Custo por litro
330	2.062	6,24
550	3.094	5,62
1.100	3.639	3,31
1.600	4.584	2,86
2.200	5.464	2,48

Custo de resfriamento do leite - escala e utilização da capacidade instalada



A necessidade de se carregar estoques para minimizar o risco de desabastecimento também pode dar origem a economias de escala. Suponha que as quantidades demandadas em diversos pontos de venda sejam variáveis aleatórias independentes com médias e variâncias constantes. Para garantir o abastecimento com 99% de confiança, uma firma que opera em um único ponto de venda precisa manter um estoque de segurança de tamanho k ; uma firma que opera em 10 pontos de venda não precisa ter estoques do tamanho $10k$. O desvio padrão da soma de variáveis aleatórias independentes é a raiz quadrada da soma das respectivas variâncias. O estoque de segurança, que é um múltiplo do desvio padrão, cresce menos que proporcionalmente ao crescimento do volume de vendas.

Há fontes de economias de escala que não decorrem da tecnologia, tal como representada na função de produção. As despesas de propaganda e marketing, de pesquisa e desenvolvimento, assim como economias na compra de insumos em grandes quantidades são exemplos desse tipo de economia de escala. A propaganda tende a tornar a demanda pelo produto diferenciado menos elástica a preço, permitindo, desse modo, uma elevação do preço.

Contudo, para essa estratégia ser lucrativa, é preciso um volume de vendas significativamente grande para “diluir” os custos da propaganda ou pesquisa e desenvolvimento