

3.

Referencial Teórico

3.1.

Métodos de Previsão

3.1.1.

Introdução

É fundamental para uma ferrovia ter previsões precisas sobre a demanda de transporte, o comportamento do preço do produto comercializado pelos seus clientes e os horizontes de expansão de capacidade dos terminais de seus clientes para que ela possa conhecer melhor a relação entre oferta e demanda no tempo e com isso gerenciar de forma estratégica seus projetos internos. Boas previsões servem como base para planejar a aquisição de seus ativos, já que o *lead-time* de fornecimento dos recursos necessários ao transporte é relativamente longo e as características deste modal atendem prioritariamente ao mercado específico de mineração.

“A atividade de previsão é parte integral do processo decisório da gestão empresarial. As empresas estabelecem metas e objetivos e procuram prever os fatores ambientais antecipadamente para selecionar as ações que permitirão alcançar as metas e objetivos estabelecidos. A necessidade de se utilizar previsões aumenta à medida que os gestores buscam diminuir sua dependência na sorte e tornam-se mais criteriosos baseados nos métodos científicos para lidar com o ambiente.” (Makridakis, 1998)

A previsão de demanda tem sido objeto de estudos em Logística Empresarial, mas na tentativa de antever o comportamento da demanda, começa a surgir na indústria de mineração também a necessidade de desenvolver estudos na área de previsão dos preços do produto transportado, e em conjunto com teorias econômicas, diversas técnicas de previsão podem auxiliar a tomada de decisões por parte dos agentes envolvidos em atividades de planejamento, avaliação de projetos e redução de riscos.

3.1.2.

Descrição Teórica dos Métodos de Previsão

Os métodos de previsão podem ser classificados em dois grupos, segundo Makridakis (1998):

- O primeiro grupo envolve os *Métodos Quantitativos Clássicos* (baseados em dados históricos): são utilizados quando há suficiente informação quantitativa disponível.

Diz respeito aos *Métodos de Séries Temporais* e os *Métodos Causais*.

Os métodos quantitativos só podem ser utilizados quando três condições forem atendidas:

- a) existência de informações históricas;
- b) estas informações podem ser quantificadas na forma de dados numéricos;
- c) possibilidade de assumir que alguns aspectos do passado continuarão a ocorrer no futuro.

A última condição é denominada “suposição de continuidade” sendo premissa necessária para os métodos quantitativos de previsão.

- No segundo grupo estão os *Métodos Subjetivos*: são utilizados quando há pouca ou nenhuma informação quantitativa disponível mas existe suficiente conhecimento qualitativo. Esse grupo de métodos pode ser subdividido em métodos exploratórios e métodos normativos.

Métodos de Séries Temporais

Define-se uma série temporal como um conjunto de observações ordenadas no tempo, não necessariamente igualmente espaçadas, e que apresentam dependência serial, ou seja, dependência entre os instantes de tempo. Pode se dizer que uma série temporal é uma realização de um processo estocástico. Quando analisamos séries temporais, existe apenas uma realização do processo disponível e portanto supõe-se que o processo subjacente é ergódico, isto é, que uma única realização do processo é suficiente para caracterizá-lo.

Métodos Causais

Já os métodos causais possibilitam uma abordagem diferente da previsão. O valor previsto é expresso como uma função de um certo número de fatores que influenciam o seu valor final, sendo que as previsões não são necessariamente dependentes do tempo. Além disso, o desenvolvimento de modelos explanatórios facilita o entendimento da situação estudada, permitindo o experimento de diferentes combinações de fatores de entrada e o estudo de seus efeitos na previsão.

Métodos causais usualmente utilizados são os métodos de regressão, a seguir:

- Regressão Simples
- Regressão Múltipla

Regressão Simples

Neste método ocorre a relação entre uma variável dependente Y a uma variável independente ou explanatória X . A condição genérica deste método é fornecida por $\{X_i, Y_i\} = 1, 2, 3, \dots, n$.

A partir da série de pares de valores observados, determina-se a relação entre Y e X do tipo: $Y = \text{padrão} + \text{erro}$ ou $Y = a + bX + e$, onde a é o intercepto, e b é a inclinação da reta e significa o erro ou desvio da observação em relação ao modelo linear. Os valores de a e b são estimados através do método dos mínimos quadrados ordinários.

Há casos em que a relação entre Y e X não é linear, então pode-se utilizar expressões alternativas que melhor representam a relação entre as variáveis, tais como $Y = ab^x$.

As condições consideradas para utilização de modelos de regressão linear são:

- a) Normalidade: ε_i ter distribuição Normal.
- b) Média zero: $E(\varepsilon_i) = 0$.
- c) Homocedasticidade: $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$ (constante), isto é, se X aumentar não ocorrerá aumento das perturbações.
- d) Ausência de auto-regressão: $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$, ou seja, as perturbações sejam não auto-regressivas.

Regressão Múltipla

Na regressão múltipla, ela pode ser considerada como caso geral e a regressão simples como caso particular. Em regressões múltiplas há uma variável dependente a ser prevista e duas ou mais variáveis explanatórias ou independentes.

A forma geral da regressão múltipla é dada por:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + erro$$

A regressão múltipla envolve portanto três ou mais variáveis, isto é, estimadores. Existe uma única variável dependente, porém duas ou mais variáveis independentes como explanatórias. A finalidade das variáveis independentes adicionais é melhorar a capacidade de predição em confronto com a regressão linear simples. O objetivo é reduzir o coeficiente do intercepto, o qual, em regressão, significa a parte da variável dependente explicada por outras variáveis, que não a considerada no modelo.

Mesmo quando estamos interessados no efeito de apenas uma das variáveis, é aconselhável incluir as outras capazes de afetar o valor Y , efetuando uma análise de regressão múltipla, por duas razões fundamentais:

- a) Para reduzir os resíduos estocásticos. Reduzindo-se a variância residual, conhecido como erro padrão da estimativa, aumenta a força dos testes de significância.
- b) Para eliminar a tendenciosidade que poderia resultar se simplesmente ignorássemos uma variável que afeta Y substancialmente.

O ideal é obter o mais alto relacionamento explanatório com o mínimo de variáveis independentes, sobretudo em virtude do custo na obtenção de dados para muitas variáveis e também pela necessidade de observações adicionais para compensar a perda de graus de liberdade decorrente da introdução de mais variáveis independentes.

3.2.

Processos Estocásticos de Preços de Commodities

3.2.1.

Processos Estocásticos

Uma das alternativas para reduzir a incerteza no processo de tomada de decisões econômicas é a utilização de modelos de previsão de séries temporais univariadas. Baseados na análise somente da variável em si, tais modelos são construídos a partir de processos estocásticos especiais, que buscam estimar o valor futuro da variável em questão com base somente em seus valores passados. Este tipo de análise se aplica nos casos em que há um padrão persistente ou sistemático no comportamento da variável, que é possível de captar através de uma representação paramétrica (Pindyck & Rubenfield, 1991).

O uso de processos estocásticos como apoio a tomada de decisão de investimentos tem se tornado freqüente em diversas áreas de economia e finanças. Um processo estocástico é uma variável que envolve tempo passado que de alguma maneira é parcialmente aleatório. É definido como a probabilidade de evolução de, ou seja, da variável X no tempo t . Sendo assim, dados os tempos $t_1 < t_2 < t_3$, etc., pode-se calcular a probabilidade dos valores X_1, X_2, X_3 , etc correspondentes em espaços de tempo específicos, por exemplo:

$$Prob(a_1 < X_1 \leq b_1, a_2 < X_2 \leq b_2, \dots)$$

Quando o tempo t_1 é atingido, observa-se o valor atual de X_1 , é possível condicionar a probabilidade de futuros eventos baseados nessa informação.

Processos estocásticos podem ser diferenciados em estacionários e não-estacionários, considerando que as propriedades estatísticas da variável X pode assumir valores constantes em longos períodos de tempo. Ambos os casos são considerados processos estocásticos *contínuos no tempo* no sentido de que o índice t é uma variável contínua. Analogamente também há processos estocásticos *discretos no*

tempo onde a variável X pode mudar somente em pontos discretos ao longo do tempo. Portanto conceitualmente, todos os estados de X_t podem ser contínuos ou discretos.

Segundo Dixit & Pindyck (1994), processos com estados discretos ou contínuos e com ou sem tendências satisfazem à *propriedade de Markov*, e são chamados de processos de Markov. Esta propriedade define que a distribuição de probabilidade para X_{t+1} depende somente de X_t , e não depende do que ocorreu no tempo t .

Processo de Wiener

O processo de Wiener é também conhecido como *Movimento Browniano*. Robert Brown investigou pioneiramente em 1827 que grãos de pólen, quando suspensos em água, se encontravam em um estado de movimento altamente animado e irregular. Posteriormente constatou-se que o movimento também se aplicava as demais partículas de vidro e minerais, e o enigma só foi decifrado satisfatoriamente por Albert Einstein em 1905. Em seguida a teoria Browniana foi desenvolvida por Smoluchowski que foi responsável pelo seu desenvolvimento sistemático através de diversas verificações experimentais. O movimento Browniano é um processo estocástico contínuo no tempo com três importantes propriedades:

- a) É um processo de Markov. A distribuição de probabilidades de todos os valores futuros depende somente do seu valor corrente, e não é afetada por valores passados ou qualquer outra informação corrente. O valor corrente é o suficiente para elaborar seu valor futuro.
- b) Possui incrementos independentes. A distribuição de probabilidade para uma mudança no processo sobre qualquer intervalo de tempo é independente de qualquer outro intervalo de tempo (não há sobreposição).
- c) Mudanças no processo em qualquer intervalo de tempo finito são normalmente distribuídos com a variação que aumenta linearmente com o intervalo de tempo. Esta propriedade é utilizada em modelos que sofrem influência constante de informações externas, de forma que podem ser incorporadas ao valor corrente e o padrão passado do valor deixa de ter relevância na previsão.

Para que problemas possam ser modelados com o processo de Wiener obedecendo às três condições de forma realista e irrestrita, é feito uso de algumas transformações apropriadas para elaborar um bloco de construção de modelos com vasta faixa de variáveis que variam continuamente (ou quase continuamente) e estocasticamente ao longo do tempo.

Se $z(t)$ obedece um processo de Wiener, então qualquer mudança em z , Δz , corresponde ao intervalo de tempo Δt , satisfazendo a seguinte condição:

1. Relação entre Δz e Δt é dada por: $\Delta z = \varepsilon \sqrt{\Delta t}$

onde ε é variável aleatória distribuída normalmente com média zero e desvio padrão de 1.

2. A variável aleatória ε é serialmente não-correlacionada, isto é, $\varepsilon[\varepsilon_t \varepsilon_s] = 0$ onde $t \neq s$.

Deixando Δt se tornar infinitesimalmente pequeno, pode-se representar o incremento do processo de Wiener, dz , em tempo contínuo como:

$$dz(t) = \varepsilon(t) \sqrt{dt} \quad (1)$$

O movimento Browniano pode ser generalizado para processos mais complexos. A generalização mais simples da equação (1) é o movimento Browniano com flutuação:

$$dX = \alpha dt + \sigma dz \quad (2)$$

onde: α é parâmetro de tendência e σ é o parâmetro de variância.

3.2.1.1.

Movimento Geométrico Browniano

Em casos especiais o movimento Browniano simples pode ser generalizado como a equação:

$$dX = a(X,t)dt + b(X,t)dz \quad (3)$$

onde: $a(X,t)$ e $b(X,t)$ são funções conhecidas (não-aleatórias). A nova funcionalidade é que os coeficientes de flutuação e da variância são funções do estado e do tempo corrente.

Nos casos onde α e σ são constantes, $a(X,t) = \alpha X$ e $b(X,t) = \sigma X$, a equação (3) se torna um caso especial conhecido como *Movimento Geométrico Browniano (MGB)*.

$$dX = \alpha X dt + \sigma X dz \quad (4)$$

3.2.1.2.

Movimento de Reversão à Média

Um dos exemplos mais simples de processos estocásticos é o andar aleatório discreto no tempo de estado discreto conhecido como *random walk*. Neste caso, X_t é uma variável aleatória que inicia com um valor X_0 e para tempos $t = 1, 2, 3, \dots$ com um tamanho de salto igual a 1 para cima ou para baixo com probabilidade de cada de $\frac{1}{2}$. Considerando que os saltos são independentes pode-se descrever a dinâmica do andar com a seguinte equação:

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

onde: ε_t é uma variável aleatória com distribuição de probabilidade.

Admitindo que X_t só pode assumir valores discretos, a distribuição de probabilidade é adquirida da distribuição binomial. Para t passos, a probabilidade de que tenha n saltos na direção para baixo e $t - 1$ para saltos na direção para cima é dada por:

$$\text{Prob}(X_t = t - 2n) = \binom{t}{n} 2^{-t} \quad (6)$$

Uma forma de generalizar este processo é alterando as probabilidades de um salto para cima ou para baixo, assumindo que p seja a probabilidade de um salto para cima e $q = (1 - p)$ a probabilidade de um salto para baixo sendo $p > q$. Assim passa-se a ter um andar aleatório com flutuação. Outra maneira de generalizar este processo é assumir que o tamanho do salto em cada tempo t é uma variável contínua. Se o tamanho de cada salto obedecer uma distribuição normal com média igual a zero e desvio padrão σ , então X_t passa a ser processo estocástico discreto no tempo de estado contínuo.

Um processo discreto no tempo de estado contínuo é o processo auto-regressivo de primeira ordem abreviado de AR(1). E é dado pela equação:

$$X_t = \zeta + \rho X_{t-1} + \xi_t \quad (7)$$

ζ e ρ são constantes e ξ_t é a variável aleatória normalmente distribuída com média zero. Este processo é estacionário e X_t possui um termo esperado de longo prazo de $\zeta / (1 - \rho)$ desconsiderando o valor corrente. O valor de longo prazo é obtido admitindo que $X_t = X_{t-1} = X$ na equação (7) e resolvendo para X . Este processo AR(1) também é conhecido como *Processo de Reversão à Média*, porque X_t tende a reverter de volta a este valor esperado de longo prazo.

De maneira geral movimentos Brownianos tendem a ficar distantes do ponto inicial. Isso pode ser realista para algumas variáveis econômicas mas não para outras. Preços de *commodities* minerais como o minério de ferro ou petróleo são comumente modelados como movimentos geométricos Brownianos, no entanto, várias análises econômicas necessitam saber por exemplo a relação do preço com os custos de

produção no longo prazo, isto é, o preço pode flutuar aleatoriamente para baixo e para cima no curto prazo em função de crises, guerras ou em resposta a renegociações contratuais de cartel, e no longo prazo retornar aos patamares próximos do custo de produção. Este tipo de *commodity*, portanto se enquadra mais em uma modelagem que utilize um processo de reversão à média, ou seja, envolve a utilização de *Modelos de Reversão à Média (MRM)*.

Processo de Ornstein-Uhlenbeck

Segundo Gardiner (1985), a adição de um termo de flutuação linear ao processo de Wiener define um dos processos de reversão à média conhecido como *Processo de Ornstein-Uhlenbeck*, que apresenta uma solução estacionária e é descrito pela equação:

$$dX = \eta(\bar{X} - X)dt + \sigma dz \quad (8)$$

onde: η é a velocidade de reversão e \bar{X} é o nível normal de X , isto é, o nível que X tende a reverter. Se \bar{X} é o preço de uma commodity, então é o valor de longo prazo equivalente ao custo de produção da commodity.

Se X é o valor corrente X_0 e X segue a equação (8) então o valor esperado para qualquer tempo futuro é então obtido pela equação:

$$E[X] = \bar{X} + (X_0 - \bar{X})e^{-\eta T} \quad (9)$$

Geralmente, como não se quer obter preços negativos, X é modelado como sendo o retorno do preço p , o qual é a variável estocástica que se quer modelar. Para tal usa-se: $X = \ln(p)$, pois é geralmente assumido que os preços de *commodities* são distribuídos segundo uma lognormal.

3.2.1.3.

Lema de Itô

O processo estocástico contínuo no tempo fornecido pela equação (3) através da generalização do movimento Browniano é também conhecido como um *Processo de Itô*, no entanto, esta equação não é diferencial. Em muitos casos trabalha-se com funções de processo de Itô sendo necessário obter o diferencial destas funções. Para descrever o valor de uma opção de investimento que seja representada por um movimento geométrico Browniano é preciso determinar um processo estocástico que se aproxime mais do comportamento da opção. E para esta finalidade é necessário fazer uso do *Lema de Itô* (Dixit & Pindyck, 1994).

A equação (3) pode ser expandida como uma série de Taylor supondo $X(t)$ segue um processo de Ito e que $f(X, t)$ é derivável uma vez em X e segunda vez em t . E para obter o diferencial df desta função é possível fazer uso das regras de cálculo em termos de mudança de primeira ordem em X e t , conforme a seguir:

$$df = \frac{\partial f}{\partial X} dX + \frac{\partial f}{\partial t} dt \quad (10)$$

Em muitos casos, as equações incluem termos de ordens elevadas e que são explorados no limite pelas teorias de cálculo diferencial. Segundo este lema pode-se ignorar os termos com ordens que tendem a zero mais rápido do que dt se torna infinitesimalmente pequeno.

Com esta aplicação é possível estender séries de Taylor para funções de diversos processos de Itô, partindo da função padrão:

$$Dxi = ai(X1, \dots, Xm, t)dt + bi(X1, \dots, XM, t)dz_i \text{ onde } i = 1, \dots, m \quad (11)$$

3.2.1.4.

Processo de Difusão com Saltos

Os processos estocásticos que são contínuos em geral são classificados como processos de difusão. Para tornar a análise econômica mais realista convém modelar

uma variável econômica como um processo que apresente saltos que não sejam freqüentes mas que sejam discretos. Estes tipos de salto são geralmente causados por exemplo pela entrada de um novo competidor no mercado ou pelo início de uma revolução ou crise política em determinada região fornecedora de uma *commodity*.

Ao abordar esta linha de pesquisa é feita a introdução de *processos de Poisson* conhecidos como *saltos de Poisson* (jumps). Um processo de Poisson é um processo sujeito á saltos de tamanho fixo ou aleatório no qual ocorrem segundo uma distribuição de Poisson. Estes saltos são denominados “eventos”. Ao denotar λ como a taxa média de ocorrência de um evento durante um intervalo de tempo infinitesimal de comprimento dt , a probabilidade do evento ocorrer pode ser dada por λdt , e a probabilidade do evento não ocorrer é fornecida por $1 - \lambda dt$. O evento é um salto de tamanho u , que pode ser uma variável aleatória.

Admitindo que q denote um processo de Poisson por analogia ao processo de Wiener, então:

- a) $dq = 0$, com probabilidade $1 - \lambda dt$
- b) u , com probabilidade λdt

O processo estocástico para variável X como uma equação diferencial de Poisson, correspondente ao processo de Itô da equação (3) pode ser escrito como:

$$dx = f(X, t)dt + g(X, t)dq \quad (12)$$

onde: $f(X, t)$ e $g(X, t)$ são funções (não aleatórias) conhecidas

Em certos casos há a combinação de um processo de Itô e um processo de saltos de Poisson quando o primeiro ocorre ao longo do tempo e o segundo ocorre com baixa freqüência. Então a versão mais apropriada do lema de Itô combina os dois efeitos, e a equação pode ser representada por:

$$dx = a(X, t)dt + b(X, t)dz + g(X, t)dq \quad (13)$$

3.3.

Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos

3.3.1.

Introdução

No ambiente econômico da cadeia logística atual, o controle de custos, qualidade, eficiências operacionais crescentes são atributos chave da rentabilidade de longo prazo em qualquer organização que faça parte da cadeia de exportação do minério de ferro.

O objetivo de qualquer análise de viabilidade econômico-financeira de projeto é melhorar o valor do objeto de estudo. Uma decisão que melhore a qualidade mas que aumente o custo a um ponto que deixe de ser economicamente viável, é tão inaceitável quanto uma decisão que diminua o custo às expensas da qualidade ou do desempenho. O cálculo do custo do ciclo de vida de um projeto ajudará no processo de tomada de decisão e aumentará a sensibilidade dos impactos no custo como reflexo da decisão tomada. Este cálculo nada mais é do que a análise e aplicação de uma série de fatores econômicos a despesas monetárias. A validade da comparação, como de todas as estimativas, depende da qualidade das estimativas de custo usadas na análise.

Uma análise econômico-financeira de um projeto tem o fundamental objetivo de deixar transparente a viabilidade do projeto aos acionistas e interessados, os chamados *stakeholders*, balizando o investimento, através de diagramas de entradas e saídas, de forma a demonstrar claramente do que, de como e, de quanto está sendo proposto.

- **Análise Financeira**

A avaliação financeira de um projeto investiga o retorno sobre os investimentos, valorando os custos e os benefícios a preços de mercado. Consideram-se, assim, todos os custos (investimentos e operacionais) e receitas, avaliados com base nos preços de mercado, incluindo impostos ou subsídios. Pode-se dizer que a análise financeira de um projeto estima o impacto que a sua implementação exercerá sobre a situação atual da empresa. A mensuração deste impacto é feita através da ótica incremental.

O impacto do projeto é expresso pela diferença entre a situação com o projeto e a situação sem o projeto. Gera-se, portanto, um fluxo incremental que expressa o impacto do projeto. Desta forma, se o objetivo for mensurar o retorno sobre os

investimentos do projeto, cria-se um fluxo de caixa incremental, a partir do qual calculam-se os indicadores de rentabilidade desejados (taxa interna de retorno, relação benefício/custo, valor presente líquido, entre outros). Isto, naturalmente, requer a quantificação de várias variáveis para as situações sem e com o projeto.

Segundo Ross (1995), os mercados financeiros proporcionam o teste chave para a tomada de decisões de investimento. Para se saber se uma dada decisão de investimento deve ou não ser tomada basta se recorrer ao seguinte teste; se houver uma alternativa superior nos mercados financeiros, o investimento deve ser rejeitado; se não, valerá a pena fazer o investimento. O mais importante a respeito deste princípio é o fato de que o investidor não precisa consultar suas preferências para decidir se o investimento deve ser feito. Independentemente das preferências de consumo intertemporal ou da paciência do indivíduo, a tomada de decisão apropriada de investimento depende apenas de uma comparação com as alternativas existentes nos mercados financeiros.

- **Análise Econômica**

Diferente da avaliação financeira, a avaliação econômica investiga a rentabilidade de um projeto considerando o verdadeiro valor dos bens ou serviços e fatores de produção. Neste sentido, os benefícios econômicos do projeto têm como base o valor relativo à disponibilidade adicional ou incremental para os usuários e os custos financeiros são transformados em econômicos através de fatores de conversão.

Como avaliação geral, a análise econômico-financeira é assim a capacidade de avaliar a rentabilidade empresarial, tendo em vista, em função das condições atuais e futuras, verificar se os capitais investidos são remunerados e reembolsados de modo a que as receitas superem as despesas de investimento e de funcionamento. De forma a alcançar a sobrevivência e desenvolvimento pretendido pela empresa, a avaliação e interpretação da situação econômico-financeira de uma empresa ou projeto centra-se nas seguintes questões fundamentais:

- Equilíbrio financeiro;
- Rentabilidade dos capitais;
- Crescimento;
- Risco;
- Valor criado pela gestão.

3.3.2.

Métodos relevantes para avaliação de projetos

Para que o estudo de viabilidade se aproxime da realidade e seja elaborado com consistência, deve-se partir de um bom cenário, dispor de um bom modelo matemático para simulação, conhecer os indicadores de qualidade fornecidos pelo modelo de cálculo e saber interpretar os indicadores, estabelecendo critérios particulares de decisão.

Um estudo de viabilidade econômica e financeira na área de Logística poderá ser mais ou menos complexo normalmente dependendo do montante do projeto de investimento e da dimensão da empresa, e poderá ainda ser parte integrante do plano de negócios de um *player* global. Geralmente necessita de uma série de elementos para começar a elaboração de um estudo de viabilidade econômica e financeira e que, com toda a certeza, será preciso levantar para o projeto em questão. Por isso, antes de fazê-lo, deve-se tentar estruturar o máximo possível a idéia do estudo.

Para Bordeaux-Rêgo (2006), os projetos logísticos que envolvem transporte ferroviário, terminais de carga e terminais de descarga podem ser classificados nas seguintes categorias:

- a) Projetos de expansão de capacidade - aquisição de ativos imobilizados para aumentar a produção ou volume de transporte, participação no mercado ou área geográfica. Isso pode se dar por meio de novas unidades fabris, máquinas, equipamentos ou veículos;
- b) Projetos de substituição - substituir ou renovar ativos obsoletos ou gastos pela elevada vida útil. Isso inclui a reposição ou atualização tecnológica de, por exemplo programas de computação (softwares);
- c) Projetos de modernização - reconstrução, recondicionamento ou adaptação de uma máquina ou das instalações para maior eficiência;
- d) Projetos intangíveis - gastos com propaganda, pesquisa e desenvolvimento, treinamento e serviços de consultoria à administração.

A dinâmica do investimento em projetos demanda a compreensão de conceitos fundamentais em finanças. É preciso avaliar qual é o objetivo da empresa, como será o

planejamento financeiro, conhecer as partes envolvidas no projeto, conceitos de balanço e demonstrativo de resultados e as fontes de financiamento.

- **Objetivo de uma empresa**

A gestão executiva de uma empresa tem como objetivo maximizar o seu valor para os acionistas. Este objetivo é algo a ser perseguido a longo prazo, sem foco em lucros imediatos. Neste sentido, as decisões devem ser tomadas para gerar aumentos de riqueza sustentáveis, segundo Damodaran (2002):

- a) decisão de investimento: diz respeito a distribuição dos recursos da empresa entre vários projetos de investimento propostos;
- b) decisão de financiamento: envolve os recursos financeiros que serão utilizados para realizar o projeto
- c) decisão de distribuição de resultados: é a definição da proporção entre dividendos aos acionistas e recursos a serem reinvestidos no negócio. O tamanho do reinvestimento de lucros define, se muito pequeno, a falta de projetos atraentes e se muito elevado, pode afastar investidores interessados em dividendos.

As decisões de financiamento e investimento são interdependentes, em função das várias formas de captação de recursos financeiros que podem ocorrer através de bancos estatais e/ou privados ou também através de ações negociadas em bolsa de valores.

- **Planejamento financeiro**

Antes de iniciar um projeto que esteja inserido no contexto logístico, a empresa precisa conhecer como ocorre o relacionamento com seus parceiros para compreender os riscos ao caixa gerados pelos fluxos financeiros das operações de pagamento e recebimento.

Os recursos necessários para equilibrar os recebimentos e pagamentos de curto prazo são conhecidos como *capital de giro* (diferença entre o ativo circulante e o passivo circulante), no entanto, as empresas devem gerar valor no longo prazo e para

atingir esse objetivo é necessário o acompanhamento dos resultados por meio de demonstrativos financeiros.

A principal fonte de informações para a tomada de decisão e construção de um fluxo de caixa de um projeto é o balanço da empresa, que é um retrato instantâneo da situação contábil. Ele se divide em duas partes: ativo e passivo. De um lado ficam os ativos da empresa, que representam as suas aplicações. Do outro, os passivos e o patrimônio líquido dos acionistas ou proprietários, suas fontes de recursos.

Enquanto o balanço patrimonial é um instantâneo, a demonstração de resultados é o somatório das operações em determinado período de tempo, em geral mensal, trimestral ou anual. Por meio do planejamento econômico-financeiro a administração acompanha e controla as previsões em períodos para corrigir possíveis alterações antes que os resultados sejam acumulados. A apuração dos resultados é o ponto de partida para a projeção do fluxo de caixa e o lucro econômico do projeto.

No Brasil, a utilização de dívida para equilibrar as contas circulantes pode se tornar muito onerosa devido às elevadas taxas de juros. O capital de giro é comumente utilizado para não necessitar de financiamentos de curto prazo. No longo prazo, a utilização de recursos de terceiros pode ser uma alavanca que pode elevar os ganhos quanto as perdas. Um alto nível de endividamento na estrutura de capital da empresa pode melhorar a remuneração dos acionistas. Isso ocorre em função da maior disponibilidade de recursos para os projetos e aos benefícios fiscais obtidos com as despesas de juros. Outra forma de financiamento é por meio da obtenção de capital próprio pela emissão de ações.

Nessa fase do projeto, são analisadas as interações de investimento e financiamento disponíveis para a empresa, onde busca-se a proporção de capital próprio e de terceiros para definir os recursos a serem empregados no projeto. Os gestores projetam as consequências da decisão tomada, desenvolvendo cenários, realizando simulações de inflação, de crescimento econômico e das taxas de juros. A mensuração de alguns impactos significativos permite uma melhor compreensão dos riscos do projeto.

As principais maneiras que as empresas utilizam para financiamento são:

- a) Financiamento interno: retenção de lucros;
- b) Financiamento externo via dívida (capital de terceiros);

- c) Financiamento externo via emissão de ações
- d) Financiamento externo via instrumentos híbridos, mesclando dívida e capital próprio (obrigações conversíveis)

O tipo de financiamento está relacionado ao estágio da empresa em seu ciclo de vida. Na fase inicial as empresas ou negócios começam com o capital dos empreendedores (capital próprio). Como não podem dar garantias, dificilmente captam empréstimos para seus investimentos iniciais. Quando estão em crescimento recorrem ao capital de risco (venture capital) ou abertura de capital (IPOS – initial public offerings) quando precisam intensamente de recursos. A falta de acesso a crédito as incentiva a buscar sócios capitalistas de risco. Já na fase de amadurecimento, ocorre lucro retido e dívida (capital de terceiros). Nesta fase madura os resultados se tornam mais previsíveis e as empresas já possuem ativos que podem ser dados em garantia a empréstimos. E por último, também há a fase de declínio com recompra de ações, e dividendos extraordinários (desinvestimento). A existência de poucos projetos leva as empresas a distribuírem um percentual maior dos lucros como dividendos ou mesmo a realizar recompra de ações.

As empresas em geral buscam estar na fase de maturidade e por meio de novos investimentos passam novamente por fases de crescimento. Esse ciclo perpetua o negócio. O orçamento de capital trata o planejamento e a gestão de investimentos de longo prazo da empresa.

- **Orçamento de capital**

As decisões de investimento são estratégicas porque exigem alocação de recursos por período superior a um ano, e portanto, a escolha do momento correto e da forma de financiamento torna a decisão complexa. O orçamento de capital define a alocação dos recursos para o projeto, detalhando entradas e saídas previstas em um determinado período futuro. Para estudar a viabilidade econômico-financeira dos projetos é necessário determinar o fluxo de caixa que o projeto irá gerar.

O diagrama de fluxo de caixa é uma representação dos fluxos de dinheiro ao longo do tempo. Graficamente, emprega-se uma linha horizontal representando o tempo, com vetores identificando os movimentos monetários, adotando-se convenções

cartesianas: fluxos positivos para cima e negativos para baixo. São considerados fluxos positivos os dividendos, as receitas ou economias realizadas; são considerados fluxos negativos as despesas em geral, a aplicação de dinheiro, o custo de aplicações ou as parcelas que foram deixadas de receber.

Com a ajuda do fluxo de caixa, pode-se determinar o momento em que a incorporação requisitará o ingresso de recursos de financiamento ou investimento, e ainda, determinar o momento que parte do faturamento poderá ser transferido para o retorno. O método mais utilizado para análise de investimentos é o fluxo de caixa descontado. Ele depende da projeção dos fluxos, da estimativa de valor residual e da determinação da taxa de desconto.

O capital equivalente a um real aplicado durante t anos a uma taxa de juros de $r\%$ a.a. equivale a $(1+r)^t$ ao final de t anos. Para se dispor de um real ao final de t anos seria suficiente aplicar hoje, a uma taxa de juros r , o valor de $1/(1+r)^t$. Ou seja, $1/(1+r)^t$ é o valor presente de um real a ser recebido dentro de t anos. Assim, um projeto será dito rentável se o total das entradas de caixa trazidas ao presente, a uma taxa r , tiver um valor superior ao total das saídas de caixa do projeto, também trazidas ao presente à mesma taxa r (Galesne, 1999).

O próximo passo consiste na definição da taxa a ser utilizada para descontar os fluxos de caixa de um projeto. Para a avaliação de um projeto de investimento, a taxa de desconto r será a taxa mínima de rentabilidade exigida do projeto, também chamada taxa mínima de atratividade (TMA). Esta taxa representa o custo de oportunidade do capital investido ou uma taxa definida pela empresa em função de sua política de investimentos. Para a análise desenvolvida nesta pesquisa, será considerada a taxa de desconto r como a taxa mínima de rentabilidade que a empresa exige de seus projetos de investimentos, ou simplesmente taxa mínima de atratividade. Em última análise, a taxa de desconto r tem a finalidade de tornar os valores dos fluxos de caixa equivalentes aos valores presentes.

A taxa de desconto, referida como taxa mínima de atratividade, é também tratada como “custo de capital”, ou como custo de oportunidade. Estes termos, contudo, não são sinônimos e, de outra parte, o valor assumido para cada taxa depende do porte da empresa e da conjuntura momentânea da economia.

As taxas de desconto podem ser descritas como:

a) *Custo de oportunidade de capital próprio (re)* - é o custo de uso do capital próprio da empresa. Representa as oportunidades de uso de capital perdidas quando é decidida determinada alocação de recursos. Um dos modelos teóricos mais aceitos para se estimar o custo de capital próprio é o *capital asset pricing model (CAPM)*, composto por conceitos de risco, diversificação e a relação entre risco e prêmio de risco associado. Intuitivamente interpreta-se que um investimento deve render no mínimo o mesmo que uma aplicação sem risco, mais o justo prêmio pelo risco a ele associado. O modelo assume que o único fator de risco relevante é o risco de mercado refletido no setor e pode ser expressado por:

$$Re = Rf + [E[Rm] - Rf]\beta \quad (14)$$

onde:

Re = retorno mínimo esperado ou exigido pelo acionista;

Rf = taxa livre de risco, que é o retorno de um ativo sem risco;

$E[Rm]$ = retorno esperado de uma carteira representativa de mercado;

$E[Rm - Rf]$ = prêmio esperado pelo risco da carteira representativa do mercado;

β = nível de risco não diversificável ou sistemático do investimento em relação ao risco da carteira de mercado. Uma medição estatística de longo prazo, ligada ao comportamento dos retornos do ativo ou setor em relação a variações nos retornos do mercado como um todo. Sua fórmula é dada por:

$$\beta_i = Cov(R_i, R_m) \frac{1}{Var(R_m)} \quad (15)$$

onde:

$Cov(R_i, R_m)$ = covariância do retorno do ativo em relação ao retorno do mercado;

R_m = retorno da carteira de mercado;

R_i = retorno do ativo individual (uma empresa)

b) *Custo de oportunidade do capital de terceiros (ra)* - é a taxa de captação dos recursos no mercado, seja através de instituições financeiras ou investidores privados;

c) *Custo de oportunidade médio ponderado de capital próprio e terceiros (rea)* - este caso é uma média ponderada entre o custo de capital próprio e o custo de capital de terceiros. Isso é válido para investimentos com perfil de risco semelhante ao da empresa como um todo. Este modelo denomina-se *weighted average cost of capital (WACC)*, ou custo médio ponderado de capital (*CMPC*). Em geral o custo de capital de terceiros é inferior ao custo de capital próprio, já que o primeiro está exposto a um risco menor. Enquanto o acionista só terá retorno se o resultado final do negócio for positivo, o capital de terceiros recebe sua remuneração fixa (juros) logo após a cobertura dos custos operacionais. Além da remuneração menor exigida pelo capital de terceiros, o pagamento de juros origina um benefício fiscal que reduz o custo do endividamento, e consequentemente, o custo do capital como um todo. E devido a possibilidade de benefício fiscal, há a restrição de uso da taxa WACC para descontar projetos que estejam ligados ao foco da empresa: aumento de escala, nova filial, expansão etc.

Então pode-se definir o custo de capital como:

$$WACC = \left(\frac{E}{V}\right)Re + \left(\frac{D}{V}\right)Rd(1 - T) \quad (16)$$

onde:

E = valor de mercado do capital próprio da empresa

D = valor de mercado das dívidas de longo prazo da empresa

$V = E + D$ = capital total da empresa

$\frac{E}{V}$ = proporção de capital próprio em relação ao capital total

$\frac{D}{V}$ = proporção de capital de terceiros em relação ao capital total

T = alíquota de imposto de renda pessoa jurídica para apuração de lucro real

$1 - T = \text{benefício fiscal}$

d) *Taxa de reinvestimento* (r_s) - é a taxa de aplicações futuras dos fluxos de caixa positivos gerados pela empresa. Não deve ser tomada como o custo do capital próprio (r_e), porque os fluxos positivos nem sempre podem ser aplicados a esta taxa, por questões de prazo e volume de recursos. Deve ser ligada à taxa efetiva de reaplicação dos fluxos futuros, nas aplicações em que dispõe;

e) *Taxa mínima de atratividade* (TMA) - do ponto de vista teórico, a taxa de desconto deveria ser igual ao custo de oportunidade do capital próprio ($r = r_e$). Porém, pode ser substituída por uma taxa politicamente definida pelo decisor, em função da política de investimento da empresa ($r = TMA$). A taxa de atratividade representa a rentabilidade mínima exigida pelo investidor, ou seja, sua motivação para investir. Como não tem sentido que a TMA seja inferior ao custo de oportunidade do capital próprio, geralmente adota-se $TMA \geq r_e$, pois a empresa desejará obter mais do empreendimento do que obteria em uma alternativa de investimento comparável e segura, devendo ainda incluir uma parcela de risco.

- **Crítérios de avaliação de projetos**

A tomada de decisão sobre a realização de projetos abrange critérios técnicos. O método mais eficaz é simular o investimento segundo algum modelo que confronte os fluxos de caixa gerados com o investimento realizado segundo critérios técnicos financeiros. Os critérios mais comuns para a tarefa de análise econômica e financeira são a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL). Emprega-se também o custo periódico (CP), período de retorno do investimento ($payback$) e o índice de lucratividade (IL). Geralmente, a análise busca identificar o lucro ou se a taxa de retorno é maior do que a taxa de atratividade. Decidir é escolher entre alternativas disponíveis, após uma análise baseada nos critérios da engenharia econômica. Caso haja apenas um investimento em estudo, seu rendimento deverá ser comparado ao rendimento de aplicações financeiras correntes no mercado, disponíveis ao investidor

para o mesmo volume de recursos. As taxas destas aplicações serão os parâmetros de comparação, definindo a taxa mínima de atratividade deste investimento.

Os principais critérios de avaliação de investimentos podem ser destacados assim:

a) Critério do valor presente líquido (*VPL*)

Uma técnica quantitativa básica para tomada de decisões financeiras é a análise do valor presente líquido. O valor presente líquido de um investimento gera fluxos de caixa (C_i) em períodos futuros, e é igual à diferença entre o saldo dos valores presentes das entradas e saídas líquidas de caixa associadas ao projeto e ao investimento inicial necessário, com o desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa r definida pela empresa (*TMA*). Todo projeto de investimento sem restrição de capital que tiver um *VPL* positivo será rentável; para um projeto analisado, havendo mais de uma variante rentável, o de maior *VPL* será o mais lucrativo. É o valor presente dos retornos diminuídos dos investimentos, descontados até a data da análise pela taxa de juros do custo do capital. O investimento inicial (saída de caixa) é representado por C_0 (Ross, 1995).

Importante também destacar que um projeto é geralmente dividido em vários sub-projetos, e mesmo que algum sub-projeto apresente *VPL* negativo o investimento deve ser realizado quando o projeto global apresentar *VPL* positivo.

Quando há restrição de capital e há mais de uma opção de investimento, deve-se escolher a opção ou a soma de opções que maximize o *VPL* com o menor montante de investimento.

$$VPL = -C_0 + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (17)$$

b) Critério da taxa interna de retorno (*TIR*)

A taxa interna de retorno (*TIR*) não depende da taxa de mercado de capitais e por isso é chamada de taxa interna, ou seja, a taxa calculada é intrínseco ao projeto (Ross, 1995). Segundo Dutra (1997), a taxa interna de retorno é a taxa que equaliza o

valor presente de um ou mais pagamentos (saídas de caixa) com o valor presente de um ou mais recebimentos (entradas de caixa). É uma taxa média de desconto do fluxo de caixa, ou, em outras palavras, é a taxa que torna o valor presente dos fluxos de caixa igual ao investimento inicial. É a mínima taxa de retorno que garante a recuperação da quantidade investida. Todo projeto cuja taxa de retorno seja superior à taxa mínima de rentabilidade que o administrador da empresa exige para seus investimentos, o negócio é interessante (Galesne, 1999).

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1 + TIR)^i} \quad (18)$$

Segundo Ross (1995), a *TIR* possui uma deficiência para projetos mutuamente excludentes. Alguns projetos têm entradas de caixa seguidas por uma ou mais saídas. Neste caso a regra da *TIR* deve ser invertida. Deve-se aceitar o projeto quando a *TIR* está abaixo da taxa de desconto. E alguns projetos apresentam várias mudanças de sinal em suas séries de fluxos de caixa e assim pode haver mais de uma taxa interna de retorno. Neste caso é recomendado que o usuário opte pelo *VPL*.

c) Critério do índice de lucratividade (*IL*)

O índice de lucratividade (*IL*) é uma medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial, sempre colocado em módulo, isto é, sempre positivo (Bordeux-Rêgo, 2006). Este critério consiste em estabelecer a razão entre o saldo dos valores presentes das entradas e saídas líquidas de caixa do projeto e o investimento inicial. Neste critério também, os cálculos são efetuados com base na taxa mínima de atratividade (*r*) da empresa. Este índice informa a percentagem de quanto se está ganhando, além do custo do capital, em relação ao valor presente do investimento. Se o valor de *IL* for negativo o projeto deve ser recusado.

$$IL = (VPL + C_0) \frac{1}{C_0} \quad (19)$$

d) Critério do período de retorno do investimento (*payback*)

Consiste na análise do período necessário para se obter o retorno do investimento inicial sem considerar nenhum tipo de juros. O que é falho neste critério é que ele é utilizado como um critério de rentabilidade de projetos, quando, na verdade, ele se caracteriza mais como uma medida da liquidez do capital investido no projeto. O uso deste critério pode ser justificado quando empregado em conjunto com os critérios baseados nos fluxos de caixa descontados, jamais como critério principal.

Uma avaliação econômico-financeira possui um número elevado de variáveis e técnicas que pode variar de acordo com o tamanho e a complexidade do projeto. Para classificar de forma gerencial e simplificada os principais critérios estudados, são considerados dois grandes grupos:

- Capital Expenditure (*CAPEX*) - gastos com despesas de capital, ou seja, serviço da dívida devido ao capital investido para compra de equipamentos para produção, terrenos, obras de infra-estrutura, construção civil, tanques de armazenamento, veículos para transporte que serão necessários na implantação de um projeto ou para a atividade final no caso de serviços logísticos.
- Operational Expenditure (*OPEX*) - gastos com despesas operacionais, reflete as despesas de custeio para que uma unidade industrial possa realizar a produção de um bem de consumo ou de um bem de produção e assim fazer frente às necessidades de compras de matéria prima, energia, catalisadores, mão de obra, consultoria, royalties, concessões, arrendamentos, capital de giro e outros insumos da produção.

Para avaliar o retorno financeiro de projetos se faz então necessário saber o ciclo total de vida esperado para a produção, o preço a ser praticado na venda dos produtos, as quantidades que devem ser produzidas para cada produto desde a fase do inicial de pré-operação, operação normal, aumento da produção (build-up regime), período de máxima produção (plateau) e declínio da produção, gastos com as despesas de capital (*CAPEX*) e gastos com as despesas operacionais (*OPEX*).

O montante das receitas provenientes é atribuída ao nível de produção praticado em cada período multiplicado pelo preço esperado na venda. O montante das despesas é igual ao *CAPEX + OPEX* em cada período.

Subtraindo o montante das despesas *CAPEX + OPEX* dos montantes das receitas em cada período, o fluxo de caixa do projeto que se deseja analisar é obtido. Fazendo o desconto desse fluxo de caixa para a data zero com uma determinada taxa de juros maior que a obtida para investimentos financeiros de baixo risco, calcula-se então o valor presente para o fluxo de caixa produzido pelo projeto.

3.3.3.

Risco e incerteza

Em função do desconhecimento de previsões que compõem variáveis chaves para garantia do sucesso de um projeto, ocorrem incertezas e riscos no processo decisório que precisam ser analisadas. Quando uma empresa utiliza capital de terceiros, a custo fixo (juros), na sua composição de capital, diz-se que ela está alavancada financeiramente. A alavancagem financeira deve ser usada para aumentar a riqueza dos acionistas. Logo a decisão estratégica quanto a definição da estrutura de capital da empresa requer a mensuração de riscos e incertezas.

As incertezas são observadas quando a distribuição de probabilidades não pode ser avaliada, em situações pouco repetitivas e incomuns.

Já o risco, está presente quando todas as ocorrências possíveis de uma determinada variável encontram-se sujeitas a uma distribuição de probabilidades conhecida por meio de experiências passadas ou que pode ser calculada com algum grau de precisão. O risco de um projeto é apontado pela variabilidade de suas entradas de caixa, isto é, quando há associação de que ele possa vir a ser rejeitado, dado que o investimento inicial é conhecido com muita segurança e o problema se encontra no desconhecimento de receitas, preços, vendas, quantidades e custos.

Segundo Brigham (2001), três tipos de risco devem ser identificados e estudados para análise de um projeto. O risco isolado, o risco da empresa e o risco do mercado.

- a) Risco isolado – risco do projeto que ignora os efeitos da diversificação, não leva em consideração o papel que ele representa na carteira de ativos da

empresa. Está puramente associado às incertezas dos fluxos de caixa futuros e é medido pela variabilidade dos retornos esperados.

- b) Risco da empresa – é o risco da empresa em relação ao projeto, este fazendo parte da carteira de ativos da empresa. É avaliado pelo efeito do projeto sobre a variabilidade dos fluxos de caixa da empresa.
- c) Risco de mercado – é o efeito do projeto sobre a variabilidade dos retornos de um investidor com carteira bastante diversificada. Mede o risco do investidor, isto é, quanto ele está se arriscando em relação ao projeto.

Os três tipos de risco estão altamente correlacionados, mas em função da proposta de estudo, será abordado o risco isolado de um projeto. Os fluxos de caixa de um projeto não são conhecidos como gostaríamos e para analisar o risco associado pode-se empregar abordagens subjetivas ou julgamentos informais a técnicas de análise estatística sofisticadas.

Entre os métodos de ajuste ao risco isolado existentes na literatura especializada que podem ser usados em análise de projetos estão:

- a) Abordagem subjetiva – consiste em utilizar um dos métodos de avaliação de um projeto e então tomar uma decisão de investimento de capital com base na avaliação subjetiva do risco.
- b) Equivalentes à certeza – o projeto é ajustado ao risco, convertendo-se as entradas de caixa esperadas em montantes certos, utilizando os equivalentes de certeza e descontando o fluxo resultante com uma taxa de livre de risco.
- c) Análise de sensibilidade – visa a formulação de questões do tipo “e se”, verificando a elasticidade dos resultados do projeto à variação de seus fatores críticos. Pode-se verificar a variável (receita, custos, taxa de desconto etc.) ao qual o *VPL* é mais sensível a ponto de comprometer a viabilidade.

- d) Análise de cenários – leva em conta a sensibilidade do *VPL* a mudanças em suas principais variáveis de decisão, bem como fornece os valores das variáveis de acordo com a sua distribuição de probabilidades.
- e) Taxa de desconto ajustada ao risco – ajustam-se os fluxos de entrada do projeto pelo risco e depois ajusta-se a taxa de desconto que deve remunerar os investidores.
- f) Árvore de decisão – são diagramas que permitem mapear de maneira clara as alternativas e recompensas de várias decisões bem como suas possibilidades de ocorrência.
- g) Simulação – é a geração de fluxos de caixa usando distribuição de probabilidades predeterminadas e a geração de números aleatórios. Técnica de análise de risco em que os acontecimentos futuros prováveis são simulados em computador, gerando taxas de retorno e índices de risco estimados.

Entre as principais técnicas de simulação está o método numérico conhecido como *Monte Carlo* que pode ser descrito como método de simulação estatística que utiliza seqüências de números aleatórios para desenvolver simulações. Em outras palavras, Monte Carlo pode ser visto como método numérico para resolver problemas por meio de amostragem aleatória (Sobol, 1994).

O Método de Monte Carlo (MMC) tem sido usado há muito tempo, mas somente no século passado ganhou o status de um método numérico capaz de ser utilizado em inúmeras e complexas aplicações. O nome “Monte Carlo” foi cunhado por Metrópolis, parceiro de Von Neumann Stanislav Ulam no Projeto Manhattan, desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial, e recebeu esse nome devido à similaridade com o método praticado no Projeto Manhattan com os jogos de azar praticados em Monte Carlo, capital do Principado de Mônaco. No entanto, segundo Sobol (1994), o MMC, só foi formalizado, em 1949, por meio do artigo intitulado “Monte Carlo Method” publicado por John Von Neumann e Stanislav Ulam.

O MMC é hoje usado em muitos campos de conhecimento que vão desde a simulação de complexos fenômenos físicos até fenômenos econômicos. Todavia, mesmo antes do Projeto Manhattan, vários problemas estatísticos foram resolvidos, por amostragem aleatória utilizando-se o MMC. Devido ao fato de que simulação de variáveis aleatórias desenvolvidas manualmente são muito trabalhosas, o uso do MMC ficou restrito a pouquíssimos especialistas, vindo a constituir uma técnica numérica universal somente com a criação dos computadores e que tem se expandido a cada nova geração de novas tecnologias de computação mais eficientes e sofisticadas. O MMC pode ser comparado aos os métodos numéricos discretos convencionais, os quais tipicamente são aplicados utilizando equações diferenciais ordinárias ou parciais que descrevem algum fenômeno físico ou sistema matemático a ser resolvido algebricamente (Sobol, 1994).

Para Sobol (1994) no uso do MMC, o processo físico é simulado diretamente, tornando desnecessário escrever as equações diferenciais que descrevem o comportamento do sistema. A única exigência é que o sistema físico ou matemático seja descrito em termos de funções de densidade de distribuição de probabilidade (FDP). Uma vez conhecidas as FDP's, a Simulação Monte Carlo (SMC) pode proceder fazendo as amostragens aleatórias a partir das mesmas. Para cada valor gerado aleatoriamente, gera-se, por meio da FDP, um valor correspondente. Este processo é repetido inúmeras vezes e o resultado desejado é obtido por uma média e desvio padrão sobre um determinado número de observações que podem chegar a milhões.