

Resumo

Esse trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio à decisão, com aplicabilidade na seleção de uma carteira de ações para investimentos em bolsa de valores. A idéia dessa aplicação é de que o investidor possa obter como sugestão de compra uma carteira de ações tomando como base o seu recurso disponível para investimento, o risco que o usuário está disposto a assumir e os dados reais de demonstrativos financeiros de empresas de capital aberto. Para efeito de análise, são considerados alguns indicadores fundamentalistas. Esses indicadores são de grande importância nesse tipo de análise e foram sugeridos pelo pai da análise financeira, Benjamin Graham, em seu livro “O Investidor Inteligente” [7]. Para chegar aos resultados desejados, a aplicação se utiliza de um algoritmo que se baseia nos conceitos de algoritmos genéticos e otimização multiobjetivo. O algoritmo escolhido é chamado de NSGA-II [2]. Ele toma como base os parâmetros financeiros escolhidos para tentar otimizar a carteira de ações do investidor. Com o auxílio desse sistema, a tarefa de analisar empresas com o objetivo de identificar oportunidades de investimento em bolsa de valores visando o longo prazo deve ser diminuída em grandes proporções. Portanto, a ferramenta desenvolvida facilita a escolha de investidores leigos e auxilia na análise de investimentos por investidores experientes na execução de suas atividades diárias.

Abstract

This work has as the main objective of the producing a tool with applicability in the selection of the best stock wallet in the stock portfolio. The idea of this application is that the investor gets stock buying suggestion. This suggestion is based in the resource available for the investment, the risk that the investor is willing to take and the real companies's financial record. For the analysis, some fundamental indicators will be considered. The indicators selection was suggested by the father of the financial analysis, Benjamin Graham, in his book "The Intelligent Investor" [7]. To archieve the expected results, the application uses an algorithm that is based on the genetic algorithms and multiobjective optimization concepts. The selected algorithm is called NSGA-II [2]. It takes as parameters the companie's financial record and optimizes the investor's stock portifolio. With the produced software support, the task of financial analysis should be dratically reduced. So, the proposed tool should make the rookie investiment much easier and at the same time should support experienced investors in the execution of theirs daily works.

Sumário

Índice de Figuras	6
Índice de Tabelas	7
Capítulo 1 Introdução	8
Capítulo 2 Algoritmos Genéticos	12
2.1. Codificação do Indivíduo	14
2.2. Função de Avaliação	14
2.3. Métodos de Seleção	15
2.4. Elitismo	16
2.5. Operadores Genéticos	17
2.6. Algoritmos Genéticos Multiobjetivos	19
2.6.1 NSGA-2	20
2.6.2 Dominância	20
2.6.3 Crowding Distance	21
2.6.4 Funcionamento do NSGA-2	21
Capítulo 3 Análise Financeira de Empresas	23
3.1. Papel da Contabilidade na Gestão Financeira das Empresas	23
3.2. Balanço Patrimonial	24
3.3. Demonstração de Resultados	25
3.4. Análise de Balanços	25
3.5. Análise Através de Índices	27

3.6.	Benjamin Graham e a Análise Financeira de Empresas	28
3.6.1.	P/L (Preço/Lucro)	29
3.6.2.	Dividendos	30
3.6.3.	Estabilidade e Crescimento dos Lucros	31
3.6.4.	Condição Financeira Suficiente Forte	31
3.6.5.	Preço/Ativos	32
3.6.6.	Tamanho da Empresa	33
Capítulo 4 Método Proposto		34
4.1.	Codificação do Indivíduo	35
4.2.	Função de Avaliação	36
4.3.	Operadores Genéticos	37
4.4.	Empresas Seleccionadas para Teste	38
4.4.1.	Petrobrás	39
4.4.2.	Cia Vale do Rio Doce	39
4.4.3.	Cia Siderúrgica Nacional	40
4.4.4.	Usiminas	40
4.4.5.	Gerdau	41
4.4.6.	Eletróbrás	41
4.4.7.	Souza Cruz	42
4.4.8.	Brasil Telecom	42
4.4.9.	Ambev	43

4.4.10. Marcopolo	43
4.5. Tabela com dados referentes às empresas selecionadas	44
4.6. Solução Retornada	44
Capítulo 5 Análise de Resultados	46
5.1. Resultado Algoritmo Genético Monoobjetivo	47
5.2. Resultado do NSGA-2	48
5.2.1. Geração 0	49
5.2.2. Geração 3.500	50
5.2.3. Geração 7.000	51
5.2.4. Geração 10.000	52
5.2.5. Evolução das Soluções ao Longo das Gerações	53
5.2.6. Determinação da Solução Final do Sistema	54
Capítulo 6 Conclusão e Trabalhos Futuros	57
Bibliografia	59

Índice de Figuras

Figura 1.	Fluxograma de um AG simples.	13
Figura 2.	Demonstração de cruzamento em um ponto.....	17
Figura 3.	Demonstração de cruzamento uniforme.....	18
Figura 4.	Demonstração de Mutação.....	18
Figura 5.	<i>Crowding Distance</i>	21
Figura 6.	Fluxograma do NSGA-2.	22
Figura 7.	Foto de Benjamin Graham.....	28
Figura 8.	Ilustra a estrutura de um indivíduo da população.....	36
Figura 9.	Exemplo de conjunto de sugestões retornadas.....	45
Figura 10.	Evolução do Preço/Lucro ao longo das gerações.	47
Figura 11.	Distribuição dos indivíduos na primeira geração.....	50
Figura 12.	População do NSGA-II na geração de número 3.500.	51
Figura 13.	População do NSGA-II na geração de número 7.000.	52
Figura 14.	População do NSGA-II na geração de número 10.000.	53
Figura 15.	Primeiros fronts das respectivas gerações.....	54
Figura 16.	Soluções finais do sistema.	55

Índice de Tabelas

Tabela 1. Soluções candidatas para a função $F(x) = \sum x_i^2$ 15

Tabela 2. Dados financeiros retirados de [4].44

Capítulo 1

Introdução

Nos dias atuais, as pessoas buscam, cada vez mais, formas de aumentar seu patrimônio. Há diversas formas para atingir esse objetivo. Uma das mais populares é o investimento em bolsa de valores.

A bolsa de valores é o mercado organizado onde se negociam ações de empresas de capital aberto e outros instrumentos financeiros como opções e debêntures. Através dela, os chamados acionistas podem adquirir porções (ações) de grandes empresas com o intuito de, em um período de tempo, obter lucro com a valorização das mesmas e com dividendos (porção do lucro da empresa que é distribuída entre os acionistas). A principal bolsa de valores do Brasil é a BOVESPA e é nela que esse trabalho terá enfoque.

Dentro desse contexto existem, basicamente, dois perfis de acionistas: o perfil do especulador e o perfil do investidor. Benjamin Graham [7] definiu em seu livro *Security Analysis* esses perfis da seguinte forma: “uma operação de investimento é aquela que, após análise profunda, promete a segurança do principal e um retorno adequado. As operações que não atendem a essas condições são especulativas”.

Resumindo, o especulador é aquele que tem a intenção de se aproveitar das oscilações do mercado, comprando sempre na “baixa” (baixo preço de cotação) e vendendo na “alta” (alto preço de cotação). Para isso, ele utiliza, normalmente, da análise gráfica que é um estudo em cima de cotações históricas que definem padrões de comportamento no movimento dos preços das ações. A partir da análise gráfica, pode-se identificar momentos de compra e de venda de ações. Outra característica dos especuladores é que eles estão sempre comprando e vendendo os papéis à medida que o gráfico indica uma reversão de tendência. Na verdade, para eles não importa a situação financeira da empresa ou sua importância no seu setor de atuação, e sim a interpretação gráfica.

Já o investidor é aquele que atua como um colecionador de ações de boas empresas, ou seja, ele compra ações de empresas que, na opinião dele, terá um futuro de crescimento e valorização e cujo preço está sub-valorizado em relação a seu valor. Ele se mantém posicionado por vários anos até que a empresa já não tenha mais um futuro tão promissor assim. Esse tipo de acionista tem como principal característica fazer uma profunda análise da empresa e, a partir dela, identificar o valor da mesma e, por fim, compará-lo ao seu preço de cotação. Com esses dados em mãos, é possível identificar se o preço de uma ação está abaixo de seu valor (o preço da ação está sub-valorizado) ou se está acima (o preço da ação está sobre-valorizado). Outro fator muito importante é que o investidor tem por objetivo obter um bom rendimento médio no longo prazo, ou seja, ele não está tão preocupado com as oscilações da bolsa.

No âmbito de sistemas inteligentes aplicados a bolsa de valores, a análise gráfica é bastante explorada com suas médias móveis e indicadores técnicos de compra e venda de ações. Essas aplicações utilizam algoritmos de redes neurais e séries temporais para dizer se, no curto prazo, o preço do papel vai subir ou cair.

No entanto, apesar de ser uma técnica válida, é provado que, no longo prazo, esses especuladores, geralmente, não conseguem um rendimento tão satisfatório como os reais investidores, como os descritos acima. Isso se deve ao fato de que os especuladores são muitas vezes traídos por seu próprio estado emocional e levados a tomar uma decisão equivocada. Além disso, por ser apenas um estudo baseado apenas no histórico das cotações e em probabilidades, há a possibilidade da técnica dar uma informação errada ou, até mesmo, dar margem a uma interpretação ambígua.

Esse projeto se propõe a utilizar computação inteligente em um novo contexto: na análise de investimentos. Mais precisamente, o sistema se propõe a fazer otimizações multiobjetivos dinâmico em análise de investimentos utilizando, para isso, o conceito de algoritmos genéticos.

Para explicar melhor o objetivo do trabalho, será inicialmente introduzido o conceito de otimização. Otimização de qualquer tarefa ou processo está diretamente ligado à sua realização, do modo mais eficiente possível. Esta eficiência pode ser avaliada de inúmeras maneiras, conforme o tipo de tarefa a ser realizada. Muitos problemas podem ser resolvidos com um único objetivo como, por exemplo, minimização do tempo de limpeza de um jardim, mas existem problemas cuja otimização envolve mais de um objetivo, normalmente conflitantes, ou seja, a melhoria de algum(uns) objetivo(s) causa(m) conseqüentemente a deterioração de outro(s).

Um exemplo de problema com objetivos conflitantes seria o projeto de uma ponte onde se deseja minimizar o peso (custo) da estrutura e maximizar as freqüências naturais de vibração (melhor desempenho dinâmico): à medida que se reduz o peso da ponte também se diminuem suas freqüências naturais de vibração. Portanto, não existe uma solução ótima única e sim um conjunto de soluções. Tais soluções são ótimas porque não existem outras soluções no espaço de busca melhores do que elas, quando todos os objetivos são simultaneamente considerados, sendo conhecidas como soluções ótimas de *Pareto*.

Já os Algoritmos Genéticos [5][14] (AG) são algoritmos inteligentes de busca e otimização fundamentados no processo da seleção natural proposto por Charles Darwin e nos mecanismos da genética. Uma grande aplicação dos Algoritmos Genéticos é em problemas de busca: dado um conjunto de elementos ou indivíduos, deseja-se encontrar aquele ou aqueles que melhor atendam a certas condições especificadas. Os AGs transformam uma população de indivíduos, cada um com um valor associado de adaptabilidade, chamado de aptidão, numa nova geração de indivíduos usando os princípios Darwianos de reprodução e sobrevivência dos mais aptos, pela aplicação de operações genéticas, tais como recombinação e mutação.

Cada indivíduo na população representa uma possível solução para um dado problema, o que o Algoritmo Genético faz é procurar aquela que seja muito boa ou a melhor para o problema analisado pela criação genética de populações de indivíduos cada vez mais aptos segundo a função objetivo de interesse.

O intuito do projeto é fazer uma varredura dos dados de demonstrativos financeiros de empresas que são negociadas na BOVESPA e, utilizando como parâmetros os índices: Preço/Lucro, Dividendos, Crescimento dos Lucros, Condição Financeira, Preço/Ativos e Faturamento (todos esses indicadores estão descritos no documento em anexo), fazer uma análise e relatar quais são as melhores opções de investimento de acordo com esses indicadores.

Com isso, será possível identificar que empresas que são negociadas na BOVESPA estão com os melhores índices automaticamente. Portanto, a aplicação será capaz de informar ao usuário, que ações seriam as melhores opções de investimento (de acordo com os parâmetros utilizados) visando o longo prazo.

Capítulo 2

Algoritmos Genéticos

Esse capítulo é dedicado à introdução dos conceitos de uma técnica bem conhecida no âmbito da computação inteligente chamada de Algoritmos Genéticos [5][14] Multiobjetivos. Todos os conceitos abordados nas próximas seções serão utilizados na realização deste trabalho.

O capítulo começará com uma introdução ao Algoritmo Genético [5][14] puro e suas propriedades, ou seja, inicialmente os conceitos de otimizações multiobjetivas não serão comentados. Entre as propriedades dos Algoritmos Genéticos abordadas estão: codificação do indivíduo, função de avaliação, métodos de seleção, elitismo e operadores genéticos (cruzamento e mutação).

Por fim, haverá uma seção falando sobre os Algoritmos Genéticos Multiobjetivos [12] e o NSGA-2 [2] (que foi o algoritmo escolhido para a resolução do problema). Essa seção também comentará a respeito de alguns conceitos agregados que são o conceito de dominância e o *crowding distance*.

O conceito utilizado pelos Algoritmos Genéticos (AG) é inspirado na teoria da evolução de Darwin (1959). Segundo ela, as espécies evoluem para melhor se adaptarem ao ambiente onde vivem. Essa evolução se dá de forma natural, pois ela enfatiza que os indivíduos que possuem as características mais aptas a sobreviver em determinado ambiente tendam a procriar e dar contínuo a sua genética assim como os que possuem características menos aptas tendam a não dar contínuo a suas características. Os cromossomos são responsáveis pela codificação dos seres vivos e são neles que acontece a evolução genética.

Os AGs são bastante utilizados para resolver problemas de busca e otimização encontrados no mundo real. Eles são especialmente atrativos por não exigirem que se saiba como encontrar uma solução ótima para um problema, mas sim como reconhecê-la como ótima. Estes algoritmos começaram a ser estudados por John Holland no começo dos anos 70. Holland definiu algoritmos genéticos da

seguinte forma: “um Algoritmo Genético faz implicitamente o que é inviável explicitamente”.

Sua aplicação envolve a execução dos seguintes passos: deve-se definir uma representação para os indivíduos (cromossomos), em seguida deve-se definir o critério de avaliação dos indivíduos (função *fitness*). O próximo passo será definir como a população inicial será gerada (normalmente essa população é gerada de forma aleatória) e quais operadores lógicos serão aplicados à solução. Por último, um conjunto de parâmetros como tamanho da população, número de gerações e probabilidades de aplicação dos operadores deve ser definido.

O critério de parada é alcançado quando o número de gerações definido previamente é atingido ou quando o algoritmo não conseguir mais evoluir ou quando uma solução satisfatória for atingida.

A figura 1 apresenta detalhadamente o funcionamento de um algoritmo genético.

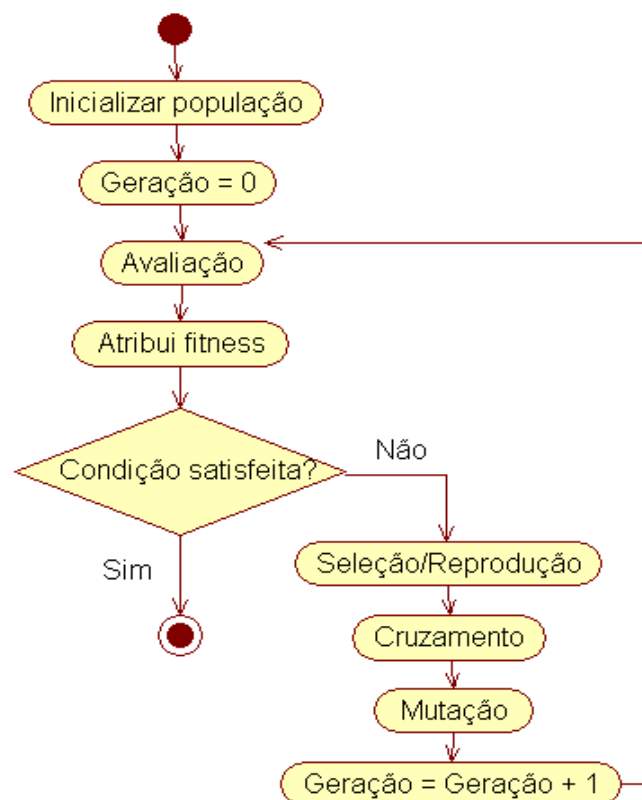


Figura 1. Fluxograma de um AG simples.

2.1. Codificação do Indivíduo

No contexto de Algoritmos Genéticos, um indivíduo é uma solução candidata a resolução de um determinado problema. É desejado que seja escolhida uma representação que melhor espelhe essa possível solução.

Existem diversas maneiras de representar essa solução. Uma representação simples e muito utilizada de indivíduos é a transformação do indivíduo em uma string de bits (com valores 0 ou 1). Apesar de útil em diversos problemas, essa representação se torna limitada para outros casos (quando variáveis assumem valores contínuos, por exemplo).

Independentemente da representação escolhida, é importante ressaltar que o algoritmo nunca saberá o significado semântico da informação que ele carrega.

2.2. Função de Avaliação

A função de ativação, ou de *fitness*, é uma função definida que serve para avaliar as soluções candidatas (indivíduos). Esses indivíduos são avaliados para que seja atribuído a ele um valor que indicará o quão apto ele é em relação aos outros indivíduos.

Na natureza, essa função de ativação é equivalente às condições do ambiente (predadores e obstáculos) onde o indivíduo de determinada espécie vive. É esse ambiente que determinará se os indivíduos com aquelas características irão conseguir sobreviver e reproduzir preservando assim suas características nas próximas gerações.

Já no âmbito de algoritmos genéticos a função de ativação consiste em uma função matemática que terá como variáveis os parâmetros da solução candidata (características dos indivíduos) e como resultado um valor. A partir desse valor será possível comparar as soluções candidatas para que as soluções com os melhores parâmetros sejam mantidas para a próxima geração e as com piores parâmetros sejam eliminadas.

Consideremos um exemplo clássico de um AG simples, onde queremos encontrar os valores de x que resultem em um valor mínimo da função $\sum x_i^2$ no intervalo $[0,31]$. Podemos codificar indivíduos para a solução desse problema com um conjunto de 5 números com valor no intervalo $[0,9]$.

Nesse caso, poderíamos considerar a função de avaliação como sendo próprio $\sum x_i^2$ (função objetivo), visto que quanto menor o valor dessa função, melhor a qualidade de um indivíduo.

A Tabela 1 traz exemplos de soluções candidatas para o problema proposto. Dentre as soluções apresentadas, a solução 3 apresenta função de avaliação menor, e por isso pode ser considerada, entre as soluções encontradas, a melhor solução para o problema.

Código	Indivíduo	F(x)
1	1 5 6 8 2	130
2	2 5 1 3 1	40
3	3 2 2 1 2	22

Tabela 1. Soluções candidatas para a função $F(x) = \sum x_i^2$.

2.3. Métodos de Seleção

Para que os Algoritmos genéticos funcionem de forma eficiente, é necessário identificar quais são as melhores e as piores soluções dentro de um grupo de soluções candidatas. Essa identificação é preciso para que as piores soluções sejam descartadas enquanto que as melhores possam passar adiante (para a próxima geração) suas características.

Diversos métodos podem ser usados para a execução dessa tarefa, entre eles estão: a seleção proporcional, a seleção por ranking e a seleção por torneio.

Na seleção proporcional, os indivíduos passam para uma próxima geração obedecendo a uma probabilidade equivalente aos valores resultantes da função de avaliação. Normalmente, esse método se utiliza de uma analogia feita a uma roleta que está dividida em N pedaços (N corresponde ao número de indivíduos) e que

cada pedaço tem um tamanho proporcional ao valor resultante da função de avaliação do respectivo indivíduo. Tal roleta é então girada e o valor apontado pelo ponteiro será selecionado.

A seleção por ranking funciona da seguinte forma: primeiramente, a lista de indivíduos da população é ordenada (na ordem crescente se o objetivo final for minimizar a função e na ordem decrescente se o objetivo for maximizar a função) de acordo com o resultado da função de avaliação de cada indivíduo; em seguida, um novo valor da função de avaliação é atribuído a cada indivíduo de acordo com sua posição no ranking. Por fim, é aplicado um procedimento similar ao da seleção proporcional (quanto melhor for sua posição no ranking maiores as chances de os indivíduos passarem para as próximas gerações).

Já na seleção por torneio as etapas se dão de uma maneira diferente. Nela, o usuário atribui um valor k (tamanho do torneio) que representa a quantidade de indivíduos selecionados aleatoriamente a partir da população. Esses indivíduos selecionados serão comparados entre si de acordo com os resultados de suas funções de avaliação. O indivíduo com melhor resultado da função de avaliação será então selecionado.

Na seleção por torneio, quanto maior for o valor k , maior será a pressão seletiva, ou seja, mais rapidamente os indivíduos mais aptos dominarão a população causando a extinção dos mais fracos.

2.4. Elitismo

O elitismo é uma forma de fazer com que os melhores elementos de uma geração participem não só dos operadores genéticos como da seleção da geração seguinte. Esse processo se dá basicamente da seguinte maneira: os x melhores elementos de uma geração n passarão para a geração $n+1$ e os outros elementos necessários para completar a geração $n+1$ serão gerados normalmente por meio de cruzamentos e mutações. Isso faz com que os melhores indivíduos de uma geração sejam sempre preservados.

2.5. Operadores Genéticos

Para que os algoritmos genéticos consigam evoluir da forma desejada, duas operações são efetuadas geração a geração. São elas: o cruzamento e a mutação.

O cruzamento consiste em fazer uma combinação genética entre os cromossomos de dois indivíduos. Esse cruzamento deve que ser feito de forma que os indivíduos gerados tenham uma grande probabilidade de serem melhores que os geradores.

Entre os métodos de cruzamento, o mais simples é o cruzamento em um ponto. Esse método se dá da seguinte forma: um ponto no cromossomo é escolhido aleatoriamente e, os genes localizados do ponto escolhido para a esquerda de um indivíduo se junta com os genes localizados do ponto escolhido para a direita de outro indivíduo (e vice-e-versa) gerando assim dois novos indivíduos com características combinadas dos indivíduos geradores. A Figura 2(a) mostra os dois indivíduos selecionados, e o ponto escolhido é representado pelo símbolo '|'. A Figura 2(b) apresenta os novos indivíduos gerados após o cruzamento.

X1 X2 | X3 X4 X5 X6

Y1 Y2 | Y3 Y4 Y5 Y6

(a) Antes do Cruzamento

X1 X2 | Y3 Y4 Y5 Y6

Y1 Y2 | X3 X4 X5 X6

(b) Depois do Cruzamento

Figura 2. Demonstração de cruzamento em um ponto.

Outro método de cruzamento bastante utilizado é o cruzamento uniforme. Nesse método, cada cromossomo do indivíduo tem probabilidade p de ser trocado pelo cromossomo de outro indivíduo que está na mesma posição. Na prática, quanto

maior o valor de p , mais cromossomos serão substituídos. A Figura 3 mostra um exemplo de cruzamento uniforme. Os genes trocados estão destacados em negrito.

X1 **X2** X3 **X4** **X5** X6
 Y1 **Y2** Y3 **Y4** **Y5** Y6
 (a) Antes do Cruzamento

X1 **Y2** X3 **Y4** **Y5** X6
 Y1 **X2** Y3 **X4** **X5** Y6
 (b) Depois do Cruzamento

Figura 3. Demonstração de cruzamento uniforme.

Já a mutação tem por finalidade fazer com que o espaço de busca seja o maior possível. Ela faz com que os algoritmos não fiquem presos em um universo de soluções semelhantes.

A mutação se dá da seguinte forma: sob uma probabilidade especificada, algum (ou alguns) cromossomo(s) é(são) escolhido(s) aleatoriamente e seus valores são alterados para um valor também aleatório. Quando as soluções candidatas estão no formato binário, basta escolher um cromossomo aleatoriamente e alterá-lo de 0 para 1 ou de 1 para 0. A Figura 4 mostra um exemplo de mutação. O gene X2, no exemplo, foi escolhido aleatoriamente para sofrer mutação e está destacado em negrito. Esse gene foi substituído por outro gene (Y2) também gerado aleatoriamente.

X1 **X2** X3 X4 X5 X6
 (a) Antes da Mutação

X1 **Y2** X3 X4 X5 X6
 (b) Depois da Mutação

Figura 4. Demonstração de Mutação.

2.6. Algoritmos Genéticos Multiobjetivos

Como descrito anteriormente, é inegável o poder dos Algoritmos Genéticos [5][14] para problemas de otimização e busca. Mas, juntamente com o conceito de otimização multiobjetivos [12] esse poder se torna ainda maior. Isso acontece pelo fato desse conceito tornar possível a otimização de mais de um objetivo (normalmente conflitantes entre si). E, associado a isso, a otimização multiobjetivos traz outra vantagem. Como a otimização multiobjetiva busca a otimização de objetivos conflitantes e em que cada um deles existe uma solução ótima, esses problemas podem apresentar várias soluções ótimas. Assim, é desejável que esses problemas sejam resolvidos por métodos capazes de gerar um conjunto de soluções ótimas de uma só vez.

A idéia de utilizar um método de busca genética para encontrar a solução de um problema com mais de um objetivo surgiu em 1967, com Rosenberg [12]. Porém, o desenvolvimento de um algoritmo com base nos conceitos de algoritmos genéticos e com os conceitos de otimização multiobjetivos só veio em 1984 com Shaffer [12]. Esse algoritmo foi denominado VEGA (*Vector- Evaluated Genetic Algorithm*).

A proposta de Schaffer era de modificar um algoritmo genético simples para que ele executasse ciclos independentes de seleção de acordo com cada objetivo. Ou seja, considerando um AG com população de N indivíduos e k objetivos a serem otimizados, k sub-populações com N / k indivíduos são geradas. Essas populações são posteriormente unidas e os operadores de cruzamento e mutação aplicados.

Após esse trabalho pioneiro de Shafer, Goldberg [12] utilizou o conceito de dominância para deixar várias cópias de indivíduos não dominados em uma população.

Partindo dessa sugestão de Goldberg, vários pesquisadores desenvolveram diferentes versões de algoritmos genéticos multiobjetivos [12]. Entre elas, destacam-se o MOGA (*Multiobjective Genetic Algorithm*) [6], o NSGA (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) [15], o NSGA-2 (*Fast Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*) [2], o NPGA (*Niched Pareto Genetic Algorithm*) [9], o SPEA (*Strength Pareto genetic Algorithm*) [16], o SPEA-2 (*improved SPEA*) [17], o PESA-II (Region-based Selection

in Evolutionary Multiobjective Optimization) [1], o PAES (Pareto-Archived Evolution Strategy) [11] entre outros.

A principal diferença entre esses algoritmos consiste na forma em que o valor da função de avaliação é atribuído aos indivíduos da população. Esse procedimento pode ser baseado em uma abordagem agregada (que utiliza métodos que atribuem pesos a cada objetivo e os unem em uma só função, como o HLGA (Hajela's and Lin's Weighting-based Genetic Algorithm), abordagens não Pareto (como a utilizada pelo VEGA) e abordagens baseadas em Pareto (como o NSGA e NPGA).

A próxima seção descreve o funcionamento do NSGA-2 [2], pois este foi o algoritmo escolhido para o desenvolvimento deste trabalho.

2.6.1 NSGA-2

O NSGA-2 [2] é um algoritmo multiobjetivo baseado no conceito de Algoritmos Genéticos e que utiliza a idéia de dominância para atribuir o valor da função de avaliação aos indivíduos da população.

Basicamente, ele divide a população em *fronts* de indivíduos de acordo com seus graus de dominância. *Fronts* são grupos de indivíduos que têm em comum seus graus de dominância. De acordo com a proposta do algoritmo, no primeiro *front* estarão localizados os melhores indivíduos da população, ou seja, os indivíduos que não são dominados por nenhum outro da geração. Esses são os indivíduos, de dentro da geração, que estarão mais próximos da linha de Pareto. Próximo da linha de Pareto é onde se encontram as soluções que melhor se adaptam ao problema proposto. Como manda a lógica, no último *front* estarão localizados os piores indivíduos da geração, ou seja, os indivíduos que são dominados por outros *fronts*.

2.6.2 Dominância

Dados p e q são pertencentes à mesma população, um indivíduo p domina um indivíduo q se, no mínimo, o valor em um dos objetivos de p é melhor que o mesmo objetivo em q e o restante dos objetivos de p não forem piores que o restante dos mesmos objetivos em q . Ou seja, isso significa dizer que p não pode possuir nenhum objetivo com menos qualidade do que q .

2.6.3 Crowding Distance

Outro conceito bastante importante que faz parte do algoritmo NSGA-2 é o de *Crowding Distance*. *Crowding Distance* é um operador de diversidade e serve para garantir que as soluções se apresentem espalhadas ao longo da linha de Pareto ao invés de se apresentarem concentradas em pontos próximos entre si.

Esse operador de diversidade serve também como critério de ordenação dentro de um mesmo *front*. Quanto maior o valor do *Crowding Distance*, melhor a classificação do indivíduo dentro do *front*.

O algoritmo de *crowding distance* calcula a distancia media entre um indivíduo central i selecionado dentro de um mesmo *front* e dois próximos indivíduos localizados em cada lado do indivíduo central ($i-1$) e ($i+1$).

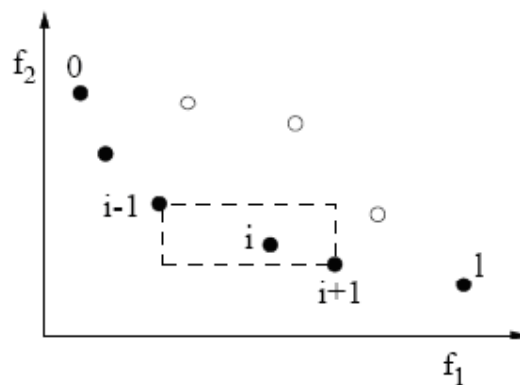


Figura 5. *Crowding Distance*.

2.6.4 Funcionamento do NSGA-2

A primeira parte do algoritmo consiste em varrer todos os indivíduos da população p , comparando todos eles entre si a fim de classificá-los de acordo com o grau de dominância (n) associado a cada indivíduo. A variável n corresponde à quantidade de indivíduos de dentro da população p que dominam o indivíduo i da mesma população. Se ao final da execução do algoritmo o valor de n for igual a 0, esse indivíduo não é dominado por nenhum outro dentro da população p . Isso significa dizer que esse indivíduo fará parte do grupo de indivíduos não dominados (primeiro *front*).

Em seguida, todos os indivíduos que pertencerem à população p , mas não pertencerem ao primeiro *front*, passarão pelo mesmo processo. Serão então identificados os indivíduos da população que pertencem ao segundo *front*. O procedimento se repetirá até que todos os indivíduos da população p estejam associados a algum *front*.

Ao final do procedimento detalhado acima, será aplicado o algoritmo de *Crowding Distance* em cada indivíduo da população. Por fim, os indivíduos dentro de cada *front* serão ordenados em ordem decrescente do valor resultante do *Crowding Distance*.

Para melhor entendimento do algoritmo, segue abaixo, na figura 6, um fluxograma que detalha o funcionamento dele.

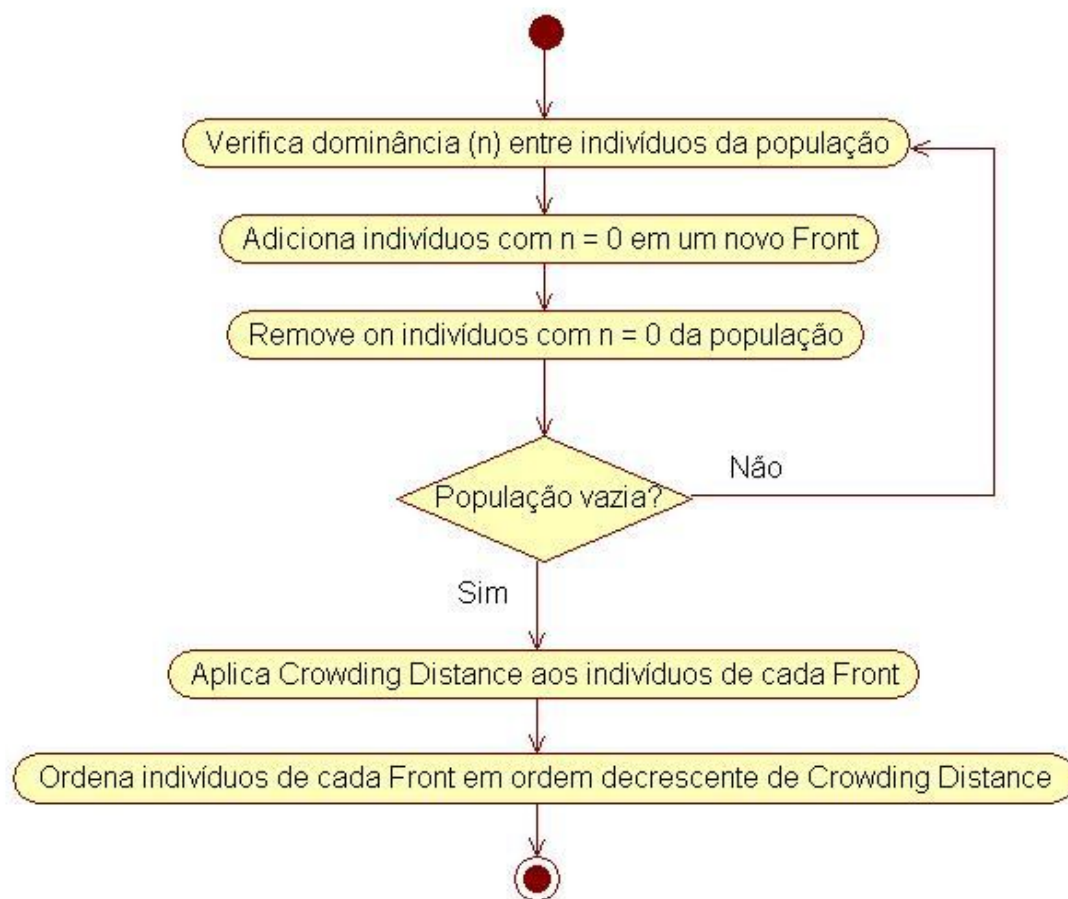


Figura 6. Fluxograma do NSGA-2.

Capítulo 3

Análise Financeira de Empresas

Esse capítulo é dedicado à introdução de outro assunto que é de suma importância para o entendimento do problema cuja proposta do trabalho é tentar resolver. Esse assunto é o de Análise Financeira de Empresas.

O capítulo começará com uma introdução ao papel da contabilidade na gestão financeira das empresas. Conceitos como balanço patrimonial, demonstrativo de resultados, análise de balanço e análise através de índices também serão apresentados.

Por fim, será falado a respeito do homem considerado como pai da análise financeira, Benjamin Graham e seus métodos de escolha de empresas para investimentos.

3.1. Papel da Contabilidade na Gestão Financeira das Empresas

Segundo Iudicibus [10], a contabilidade, na qualidade de ciência aplicada, com metodologia especialmente criada para captar, registrar, acumular, resumir e interpretar os fenômenos que afetam as situações patrimoniais e econômicas de qualquer ente, tem grande utilidade na prevenção de riscos e a continuidade de empreendimentos.

Afirmam Hendriksem e Breda [8] com enfoque na definição dos objetivos da contabilidade dando ênfase ao processo de coleta de dados e ao formato das demonstrações financeiras que:

“A divulgação financeira deve fornecer informações que sejam úteis para investidores e credores atuais e em potencial, bem como para outros usuários que visem à tomada racional de decisões de investimento, crédito e outras semelhantes,

as informações devem ser compreensíveis aos que possuem uma noção razoável dos negócios e das atividades econômicas e que estejam dispostos a estudar as informações com diligência razoável”.

Considerando a formulação do autor acima, conclui-se que a informação financeira é base de sustentação das decisões, através dela pode-se verificar o passado e projetar o futuro da organização. A demonstração financeira deve fornecer informações confiáveis sobre os recursos econômicos e as obrigações de uma empresa.

Outro ponto muito importante é que as informações quantitativas produzidas através da contabilidade devem proporcionar ao usuário a possibilidade de avaliar a situação e as tendências da entidade com o menor grau de dificuldade possível. A precisão das informações e o próprio desenvolvimento de aplicações práticas da contabilidade dependerão, sempre, da observância e aplicação de seus princípios.

Considera-se que o sistema de informação contábil deve sempre interagir com todos os departamentos da organização, a fim de fornecer informações conforme a necessidade de cada um. Somente através de conhecimento destas informações será capaz de implantar um sistema de controle, execução e planejamento. Planejamento é uma ferramenta de extrema importância na administração de uma organização, através do planejamento torna-se possível minimizar o risco, e as ações devem sempre ser pautadas de acordo com o planejado.

3.2. Balanço Patrimonial

É a demonstração que apresenta todos os bens e direitos da empresa (Ativos), assim como as obrigações (Passivo Exigível) em determinada data. A diferença é chamada Patrimônio Líquido e representa o capital investido pelos proprietários da empresa, quer através de recursos trazidos de fora da empresa ou gerados por esta em suas operações e retidos internamente.

É interessante notar que o Ativo mostra o que existe concretamente na empresa. Todos os bens e direitos podem ser comprovados por documentos, tocados ou vistos. As únicas exceções são as despesas antecipadas e as diferidas,

as quais representam investimentos que beneficiarão exercícios seguintes e, por isso, se acham no balanço (é algo que aumenta o valor da empresa sem ter um valor objetivo ou de mercado). O Passivo Exigível e o Patrimônio Líquido mostram a origem dos recursos que se acham investidos no Ativo. Especificamente, o Patrimônio Líquido não representa nada de concreto. Quando a empresa é constituída, os sócios entregam-lhe determinado Capital representado por dinheiro ou bens. Nesse momento, a empresa possui apenas esses bens e o numerário que recebeu dos sócios. O Capital mostra apenas a origem desses bens e dinheiro. É apenas um elemento informativo e não algo de concreto.

3.3. Demonstração de Resultados

Trata-se de uma demonstração dos aumentos e reduções causados no Patrimônio Líquido pelas operações da empresa. As receitas representam normalmente aumento do Ativo, através do ingresso de novos elementos, como duplicatas a receber ou dinheiro proveniente das transações. Aumentando o Ativo, aumenta o Patrimônio Líquido. As despesas representam redução do Patrimônio Líquido, através da redução do Ativo ou aumento do Passivo Exigível.

Enfim, todas as receitas e despesas se acham compreendidas na Demonstração do Resultado, segundo uma forma de apresentação que as ordena de acordo com a sua natureza; fornecendo informações significativas sobre a empresa.

A Demonstração do Resultado é, pois, o resumo do movimento de certas entradas e saídas no balanço, entre duas datas.

A Demonstração do Resultado retrata apenas o fluxo econômico e não o fluxo de dinheiro. Para a Demonstração do Resultado não importa se uma receita ou despesa tem reflexos em dinheiro, basta apenas que afete o Patrimônio Líquido.

3.4. Análise de Balanços

A análise de balanço surgiu dentro do sistema bancário que foi seu principal usuário. Em 1895, o Conselho Executivo da Associação dos Bancos no estado de Nova

lorque orientou a seus membros a pedir aos tomadores de empréstimo declarações escritas e assinadas de seus ativos e passivos.

É pouco provável que nessa época existissem técnicas analíticas que possibilitassem a medição quantitativa nos dados dos balanços. As idéias eram vagas e não se tinham técnicas comparativas eficientes. Com o passar dos anos foram se desenvolvendo técnicas e indicadores para facilitar comparação de diversos pontos de vista das empresas.

Em 1915, o Federal Reserve Board (o Banco Central dos Estados Unidos) determinou que só poderiam ser renegociados os títulos de empresas que tivessem apresentado seu balanço patrimonial. Essa medida instituiu o uso das demonstrações financeiras como base para a concessão de crédito.

No Brasil, até 1968, a análise de balanço era pouco utilizada na prática. Porém, nesse ano foi criada a SERASA. A SERASA é uma empresa que surgiu para operar como central de análise de balanços dos bancos comerciais. A partir daí, esse tipo de análise foi difundida no país. Na SERASA, hoje, são aplicados avançados conhecimentos de estatística e matemática em análises de balanços patrimoniais.

A Lei das Sociedades por Ações (Lei nº 6.404) determina a estrutura básica das quatro demonstrações financeiras.

A legislação fiscal tornou essas determinações obrigatórias também para os demais tipos de sociedades. Por essa razão, hoje, todas as empresas, no Brasil, divulgam suas demonstrações financeiras sob a forma prevista na Lei das S.A.

Essa lei trouxe consideráveis aperfeiçoamentos contábeis em relação às práticas anteriormente vigentes e tornou-se um marco na história da Contabilidade no Brasil, apesar de ainda não incorporar todos os aperfeiçoamentos que seriam possíveis.

A análise de balanço estuda a situação patrimonial da entidade, através da decomposição, comparação e interpretação do conteúdo das demonstrações contábeis (balanço patrimonial e demonstração de resultados), a fim de obter informações analíticas e exatas sobre a situação geral da empresa. A partir do

exposto acima, conclui-se que o diagnóstico de uma empresa quase sempre começa com uma rigorosa análise de balanços, cuja finalidade é determinar quais são os pontos críticos e permitir, de imediato, apresentar um esboço das prioridades para a solução de seus problemas. Através da análise do balanço, é possível ainda obter-se uma visão da estratégia e planos da empresa estimando seu futuro, suas limitações e suas potencialidades.

3.5. Análise Através de Índices

A análise através dos índices constitui a técnica de análise mais empregada. Sua característica fundamental é fornecer uma visão ampla da situação econômica ou financeira da empresa.

Índices são dados extraídos da relação entre contas ou grupo de contas do balanço patrimonial, sobre os quais são aplicadas técnicas de análise, a fim de fornecer uma visão ampla da situação econômica e financeira das empresas, através destes podemos construir um quadro de avaliação das empresas.

Analisar as demonstrações contábeis consiste em comparar os valores de determinadas operações e períodos de modo que se possa ter uma visão do passado a fim de projetar e programar o futuro. A simples comparação já permite analisar o crescimento, ou não, de determinados itens patrimoniais.

Para Matarazzo [13], “um índice é como uma vela acesa num quarto escuro”. Segundo este autor um índice por si só não fornece base suficiente para uma análise satisfatória, mas serve de medida para diversos aspectos econômicos e financeiros das empresas. Faz-se necessário, portanto, que mais informações sejam acrescentadas. O importante não é o cálculo de um grande número de índices, isso vai depender da profundidade da análise que se queira realizar, os índices extraídos dos balanços patrimoniais devem ser comparados a um índice padrão adotado para cada ramo da atividade específica, desta forma permite ao analista comparar o desempenho da empresa em relação ao mesmo segmento.

Observa-se que, através do estudo analítico dos índices, pode-se avaliar a tendência patrimonial e financeira da organização, muito embora exista o risco do

imprevisto. Assim, pode-se afirmar, com certa margem de segurança, qual a tendência que está sendo evidenciada.

3.6. Benjamin Graham e a Análise Financeira de Empresas

Benjamin Graham (ver figura 7) é considerado o pai da análise financeira de empresas e o criador da filosofia de investimento em valor, que mitiga o risco dos investidores cometerem erros cruciais e os ensina a desenvolver estratégias de longo prazo. Era de ascendência judia, e seu sobrenome original era Grossbaum, nasceu em Londres em 8 de maio de 1894 e mudou-se para Nova Iorque com sua família quando tinha um ano de idade. Seus pais mudaram o nome de família durante a Primeira Guerra Mundial, quando os alemães colocaram diversos nomes sob suspeita. Graduou-se na Universidade de Columbia e, aos 25 anos, era sócio de uma conhecida corretora em Nova York (Graham-Newman). Seu sucesso financeiro foi arruinado pela crise de 1929, todavia determinou-se a reconstruir sua fortuna – entre 1929 e 1956, período que contempla a Grande Depressão, seus investimentos cresceram à taxa de 17% ao ano. O índice Dow Jones, para efeito de comparação, alcançou os níveis de 1929 apenas em 1954, ou seja, um investimento feito em 1929 apenas teria o mesmo valor 25 anos depois, não considerando os dividendos.

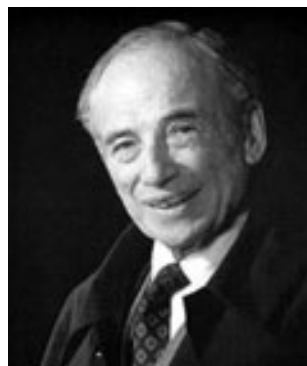


Figura 7. Foto de Benjamin Graham.

Depois da experiência de 1929, Graham desenvolveu técnicas que podem ser utilizadas por qualquer interessado em aplicar suas economias em renda variável. Ele popularizou as análises das empresas por múltiplos (razão preço versus lucros (P/L), razão dívida líquida versus ativos, histórico de dividendos, crescimento dos lucros, valor contábil da empresa e outros índices). Sua abordagem foca em números objetivos e implica uma menor importância às questões subjetivas como a administração da companhia, poder da marca, novos produtos ou novas tendências. Apenas as informações disponíveis publicamente são necessárias para esses estudos. Graham prega a importância de se entender uma companhia pelo seu próprio valor intrínseco. Acredita que os investidores que calcularem corretamente esse valor e comprar as ações quando estiverem com um preço abaixo do resultado obtido no cálculo do valor intrínseco, terão lucros garantidos.

Graham não faz previsões sobre lucros futuros das empresas que analisa, não confia em suas previsões de longo prazo tampouco nas previsões de outros analistas. Sua abordagem é quantitativa, se uma pessoa compra ações por um preço barato, com base em valor, ela está numa posição confortável, mesmo se o mercado vier a cair. Por outro lado, se essa pessoa vender as ações por um preço caro ela fez uma escolha sábia, mesmo que o mercado continue a subir. Além de tudo isso, para o investimento baseado em previsões oferecer lucros, além das projeções se tornarem realidade é preciso que o mercado ainda não tenha precificado nas ações essas estimativas. As projeções de longo prazo são muito difíceis e pouco úteis em função das premissas adotadas serem substancialmente qualitativas.

Em seu livro “O investidor Inteligente” [7], no capítulo “Escolha de Ações para um Investidor Defensivo”, Graham toma como base para escolha de ações os seguintes indicadores: Preço/Lucro, Dividendos, Crescimento e Estabilidade dos Lucros, Condição Financeira Suficientemente Forte, Preço/Ativos e o tamanho da empresa. As sessões seguintes são dedicadas à introdução desses conceitos.

3.6.1. P/L (Preço/Lucro)

Esse índice é utilizado para informar o quanto a ação de determinada empresa está cara ou barata. É o indicador mais consistente de ressalva quanto ao otimismo

excessivo no mercado (sobre-valorização) ou pessimismo excessivo (sub-valorização).

O índice é calculado da seguinte forma: preço por ação/ lucro por ação. O preço por ação (numerador) é o preço de mercado de uma ação. Já o lucro por ação (denominador) é o lucro líquido mais recente de uma empresa (no último ano) dividido pela quantidade de ações que essa empresa possui.

Dessa maneira, o P/L indica uma estimativa de prazo, em anos, para que o investidor recupere o capital aplicado na compra da ação, assumindo-se a distribuição integral dos lucros da empresa. Na prática isso não acontece, porque o lucro e o preço da ação não são lineares (iguais todos os anos), nem os dividendos correspondem a 100% do lucro. Mas não deixa de ser uma estimativa.

De forma geral, quando esse índice atinge níveis menores que 10, diz-se que a ação está desvalorizada e quando o índice sobe a níveis maiores que 20, diz-se que a ação está sobre-valorizada. Teoricamente, para a ação estar em um bom nível de preço para compra, o preço atual não deve ser maior do que quinze vezes os lucros médios dos últimos três anos.

3.6.2. Dividendos

É a parcela do lucro apurado pela empresa que é distribuída aos acionistas por ocasião do encerramento do exercício social (balanço). Pela lei das S/A's, deverá ser distribuído um dividendo de no mínimo 25% do lucro líquido apurado, e sempre em dinheiro (moeda corrente). Os dividendos podem ter periodicidade diversa: mensal, trimestral, semestral, anual, etc., desde que conste no estatuto da empresa o período determinado.

A Assembléia Geral Ordinária (AGO) é quem determina a parcela a ser distribuída como dividendo, de acordo com os interesses da empresa, através da manifestação de seus acionistas. O montante a ser distribuído deverá ser dividido pelo número de ações emitidas pela empresa, de forma a garantir a proporcionalidade da distribuição.

Para que uma empresa seja atraente ao investidor, ela deve ter um histórico de pagamentos ininterruptos de dividendos durante, pelo menos, os últimos 20 anos.

3.6.3. Estabilidade e Crescimento dos Lucros

Esse ponto tem por finalidade fazer com que o acionista tenha uma maior segurança na empresa na qual se deseja investir. Ele é de extrema importância, pois, com ele é possível identificar se a empresa está crescendo ao longo do tempo e se esse crescimento é suficientemente sólido.

Um crescimento dos lucros razoável indica que a empresa está crescendo ao passar do tempo. É considerado um bom aumento nos lucros, pelo menos um terço nos lucros por ação durante os últimos dez anos usando médias trienais no início e no fim.

A empresa também deve ter obtido algum lucro em cada um dos dez anos anteriores. Isso mostra que os lucros da empresa são estáveis (não é inconstante) e nos dá uma possibilidade maior de prever o lucro futuro da empresa.

3.6.4. Condição Financeira Suficiente Forte

Para chegar ao entendimento do que é uma condição financeira suficientemente forte, é necessário que alguns outros conceitos sejam introduzidos previamente. Basicamente, esses conceitos são: ativo circulante, passivo circulante, capital de giro e endividamento de longo prazo. Os parágrafos seguintes serão dedicados à introdução desses conceitos.

O Ativo Circulante são todos os bens e direitos que podem ser convertidos em dinheiro em um curto prazo. Os ativos com essas características são: dinheiro em caixa, conta movimento em banco, aplicações financeiras, contas a receber, estoques, despesas antecipadas, numerário em caixa, depósito bancário, mercadorias, matérias-primas e títulos.

O Passivo Circulante são todas as obrigações que são pagas em um ano: contas a pagar, dívidas com fornecedores de mercadorias ou matérias-prima,

impostos a recolher (para o governo), empréstimos bancários com vencimento nos próximos 360 dias, provisões (despesas incorridas, geradas, ainda não pagas, mas já reconhecidas pela empresa: imposto de renda, férias, 13º salário, etc.).

O Capital de Giro é o conjunto de valores necessários para a empresa fazer seus negócios acontecerem (girar). Esse índice é calculado se subtraindo o ativo circulante pelo passivo circulante.

Já o Endividamento de Longo Prazo é um indicador usado em análise financeira, que serve para entender a estrutura de capital de uma empresa. O indicador é calculado como sendo a porcentagem do capital investido da empresa composta por fundos de longo prazo provenientes de terceiros. O capital investido em uma empresa é definido como a soma das suas obrigações de longo prazo com terceiros (dívida de longo prazo) e do capital investido pelos seus acionistas (patrimônio líquido).

No caso das empresas industriais, o ativo circulante deverá ser, pelo menos, o dobro do passivo circulante, sendo assim chamado índice de liquidez normal de dois para um. Da mesma forma, o endividamento de longo prazo não deveria exceder os patrimônios líquidos circulantes (“capital de giro”).

3.6.5. Preço/Ativos

Preço/Ativos é um indicador bastante usado em análise de investimentos. Ele faz um comparativo entre o preço que o acionista está pagando pela ação e o valor patrimonial contábil da empresa.

O preço atual (preço de uma ação multiplicado pela quantidade de ações) não deveria ser mais do que 1,5 vezes maior do que o último valor contábil divulgado. No entanto, um múltiplo de lucros (P/L) inferior a 15 poderia justificar um múltiplo de ativos correspondentemente menor. O sugerido é que o produto entre o múltiplo (Preço/Ativos) e a razão preço/valor contábil não ultrapasse 22,5.

3.6.6. Tamanho da Empresa

O tamanho da empresa é medido pelo faturamento dela. Quanto maior o faturamento maior será a empresa. Esse ponto é bastante importante deve ser levado em consideração quando falamos em análise de investimentos.

Com a informação do tamanho da empresa, o investidor terá a possibilidade de excluir empresas pequenas que possam estar sujeitas a adversidades acima do normal, principalmente no setor industrial. Um grande exemplo de adversidade é o da crise imobiliária que estourou em meados do ano de 2008 e levou a prejuízos enormes e até falência de muitas empresas de vários setores. Em cenários como esse, as primeiras empresas a sentirem os efeitos da crise são as menores. Por isso, é interessante (e mais seguro) para o investidor estar posicionado em papéis de empresas maiores.

Capítulo 4

Método Proposto

A tarefa de análise financeira de empresas pode ser muito desgastante. Balanços Patrimoniais e Demonstrativos de Resultados terão que ser abertos um a um e os principais índices terão que ser calculados de acordo com as informações contidas nessas publicações. Depois de concluída essa etapa, essas empresas terão de ser comparadas entre si, a fim de se encontrar a empresa (ou o grupo de empresas) que apresenta(m) o(s) melhor(es) indicador(es). Considerando que o Ibovespa é um índice composto por todas as ações que foram negociadas em, pelo menos 80% dos pregões do ano e que se deseja encontrar as melhores empresas listadas nesse índice, a análise financeira de empresas, se feita manualmente, pode dar um trabalho enorme.

No entanto, tendo como inspiração à resolução desse problema, foi desenvolvida a idéia de uma aplicação inteligente que fizesse o cálculo de índices e encontrasse, de forma automática, o grupo ações de empresas que apresentassem os melhores indicadores financeiros, sendo assim mais favoráveis à compra.

Esse projeto se propõe a utilizar conceitos de algoritmos genéticos e otimização multiobjetivo e aplicá-los na análise financeira de empresas com foco no mercado acionário (visando à compra e venda de ações). Como mencionado anteriormente, essas são técnicas de resolução eficiente de problemas de otimização e se encaixam perfeitamente na necessidade de uma seleção de atributos.

Nesse capítulo, será abordada a metodologia que foi utilizada para que o projeto se tornasse viável. As próximas sessões tratam de cada ponto isolado dessa metodologia. Na próxima seção, será apresentada a codificação do indivíduo utilizado para este trabalho. Em seguida, mostra-se como será implementada a função de avaliação. Também haverá uma seção dedicada aos operadores genéticos e outra a respeito da população selecionada para o algoritmo, dando, com

o intuito de dar uma melhor explicação a respeito das ações escolhidas para avaliação, uma breve explicação sobre cada empresa. Por fim, serão feitos comentários a respeito da solução retornada pelo sistema.

4.1. Codificação do Indivíduo

No problema em questão, cada indivíduo será composto por uma lista de empresas. Cada empresa terá, associada a ela, uma lista de características. Essas características são: razão social, código, quantidade de ações, quantidade sugerida de compra, lucro líquido, ativos, ativo circulante, passivo circulante, dividendos, preço da ação, endividamento de longo prazo, crescimento dos lucros, faturamento, capital de giro, preço/lucro, preço/ativos e índice de liquidez corrente.

Além da lista de empresas, os indivíduos são compostos também por outras características. São elas: front ao qual o indivíduo pertence, a quantidade de indivíduos da população que o dominam, os indivíduos dominados por ele, valor referente ao *Crowding Distance* e alguns múltiplos gerais (preço/lucro geral, preço/ativos geral, dividendos geral, índice de liquidez corrente geral, crescimento dos lucros geral). Todos esses múltiplos gerais são calculados como uma média aritmética ponderada do índice de todos os indivíduos da população, ou seja, considerando o múltiplo m , m geral será igual ao somatório das multiplicações de m pela respectiva quantidade sugerida de compra da mesma empresa, tudo dividido pelo somatório das quantidades sugeridas de compra.

Esses múltiplos gerais serão de suma importância para a resolução do problema, principalmente na verificação de dominância, pois serão esses atributos que serão comparados como objetivos. Esse ponto será detalhado mais adiante.

Indivíduo				
P/L Geral	Dividendos Geral	Preço/Ativos Geral	ILC Geral	Crescimento Lucros Geral
Front	Crowding Distance	Quantidade de Indivíduos que o Dominam		
Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Razão Social	Razão Social	Razão Social	Razão Social	Razão Social
Código	Código	Código	Código	Código
Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações
Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra
Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido
Ativos	Ativos	Ativos	Ativos	Ativos
Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante
Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante
Dividendos	Dividendos	Dividendos	Dividendos	Dividendos
Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação
Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo
Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros
Faturamento	Faturamento	Faturamento	Faturamento	Faturamento
Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro
Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro
Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos
ILC	ILC	ILC	ILC	ILC
Empresa 6	Empresa 7	Empresa 8	Empresa 9	Empresa 10
Razão Social	Razão Social	Razão Social	Razão Social	Razão Social
Código	Código	Código	Código	Código
Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações	Quant. Ações
Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra	Quant. Compra
Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido	Lucro Líquido
Ativos	Ativos	Ativos	Ativos	Ativos
Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante	Ativo Circulante
Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante	Passivo Circulante
Dividendos	Dividendos	Dividendos	Dividendos	Dividendos
Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação	Preço Ação
Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo	Endiv. Longo Prazo
Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros	Crescimento Lucros
Faturamento	Faturamento	Faturamento	Faturamento	Faturamento
Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro	Capital de Giro
Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro	Preço/Lucro
Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos	Preço/Ativos
ILC	ILC	ILC	ILC	ILC

Figura 8. Ilustra a estrutura de um indivíduo da população.

4.2. Função de Avaliação

A função de avaliação analisa a qualidade de uma determinada valoração de atributos. Com a utilização da otimização multiobjetiva, cada indivíduo deve ser avaliado de acordo com os seguintes critérios: preço/lucro geral, preço/ativos geral, dividendos geral, crescimento dos lucros geral e índice de liquidez corrente geral.

Para definir a relação de dominância, cada critério mencionado acima terá uma forma de otimizar seu valor. Por exemplo, alguns indicadores como preço/lucro e preço/ativos serão otimizados à medida que seus valores diminuïrem. No entanto, há indicadores como dividendos, crescimento dos lucros e o índice de liquidez corrente que serão otimizados à medida que seus valores aumentarem.

O AG não possui um valor escalar que represente o quanto bom um indivíduo é. Quando dois indivíduos são comparados, sua relação de dominância de Pareto é estudada, considerando os dois objetivos a serem otimizados. Se um dos indivíduos comparado domina o outro, ele é considerado como sendo o melhor. Porém, se não existir relação de dominância, um terceiro critério é utilizado para determinar o melhor dos indivíduos. Esse critério é o *Crowding Distance*. Quanto maior for o valor desse operador de diversidade, melhor será o indivíduo.

4.3. Operadores Genéticos

Nesse projeto, como mencionado anteriormente, os indivíduos são compostos por papéis de empresas, dentre outras características. Cada empresa tem uma característica que representa a quantidade de ações sugerida para compra. Os operadores genéticos atuarão sobre essas quantidades a fim de otimizar os objetivos escolhidos. Para isso, foi criada uma propriedade no indivíduo, do tipo vetor de inteiros, que armazenará nela todas as quantidades sugeridas de compra de todas as empresas dele.

O tipo de cruzamento escolhido para operar nesse projeto foi o cruzamento em um ponto. Basicamente, o cruzamento será feito em cima do vetor de quantidades sugeridas para compra associados a cada indivíduo.

O cruzamento fará com que as novas quantidades sugeridas de compra estejam desalinhadas com o recuso que o usuário terá para investir. Supondo que o usuário informe ao sistema que dispõe de um determinado valor para investir, o sistema terá que operar com as quantidades sugeridas de forma que a soma dessas quantidades multiplicadas ao valor das ações desejadas não seja superior ao recurso disponível pelo usuário para aplicação e sim em torno dele. Em outras

palavras, uma pessoa que dispõe de R\$ 50,00 não poderá comprar duas ações de R\$ 30,00, assim como não deverá comprar apenas uma de R\$ 5,00.

Por isso, depois do cruzamento, será sempre executada outra operação genética, a mutação. Uma das principais funções da mutação no problema proposto é a execução de uma rotina de ajuste de valor. Essa rotina fará com que o valor que o sistema sugerir para compra seja por volta do valor desejado pelo usuário. Caso o valor sugerido seja maior que o disponível, uma empresa será escolhida aleatoriamente e dela diminuída uma unidade da quantidade de ações sugerida para compra até que a situação se inverta. Da mesma forma, caso o valor sugerido seja muito menor que o disponível, uma empresa será escolhida aleatoriamente e dela aumentada uma unidade da quantidade de ações sugerida para compra até que o valor sugerido seja igual ou pouco menor que o recurso disponível.

Outra função importante da mutação é impedir que os novos indivíduos criados sejam iguais a algum indivíduo que já exista na população. Por fim, a mutação tem o propósito de fazer com que as soluções abranjam a maior parte das soluções possíveis.

Além dos operadores básicos, um esquema de elitismo foi também incorporado ao método. A função do elitismo é preservar as melhores soluções encontradas, para que essas não se percam durante o processo de evolução. Num Algoritmo Genético Multiobjetivo, pode-se considerar que as melhores soluções de geração são aquelas que não são dominadas por nenhuma outra solução da população atual.

No algoritmo genético implementado, a cada geração, os cinco melhores indivíduos serão preservados e serão adicionados à próxima geração. Com isso, suas características serão também preservadas para fazer cruzamentos e mutações em gerações futuras.

4.4. Empresas Seleccionadas para Teste

Para testar o funcionamento do algoritmo genético desenvolvido, foi feita uma seleção de dados reais de empresas cujas ações são negociadas na BOVESPA. Foram escolhidas empresas de grande importância em seus setores de atuação.

Empresas cujo faturamento e poder de influência sobre o Ibovespa estão bem acima da média, ou seja, empresas grandes que não expõem o investidor a grandes riscos.

Os dados selecionados para constituírem os indivíduos da população foram retirados do *web site* www.fundamentus.com.br [4] e do da BOVESPA [3]. São dados de balanços patrimoniais e demonstrativos de resultados de empresas negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo referentes ao dia 29 de abril de 2009.

Foram escolhidas 10 boas empresas para a finalidade descrita acima. As ações escolhidas foram: Petrobrás PN (PETR4), Cia Vale do Rio Doce PNA N1 (VALE5), Cia Siderúrgica Nacional ON (CSNA3), Usiminas PNA (USIM5), Gerdau S.A. PN N1 (GGBR4), AMBEV PN (AMBV4), Eletrobrás PNA (ELET5), Marcopolo PN N2 (POMO4), Souza Cruz ON (CRUZ3), Brasil Telecom S.A. PN N1.

Segue em seguida uma breve descrição sobre cada uma das empresas escolhidas.

4.4.1. Petrobrás

A Petrobras - Petróleo Brasileiro S/A é uma empresa estatal brasileira, de economia mista, que opera em 27 países, no segmento de energia, prioritariamente nas áreas de exploração, produção, refino, comercialização e transporte de petróleo e seus derivados no Brasil e no exterior. Ela é sediada no Rio de Janeiro. Seu lema atual é "Uma empresa integrada de energia que atua com responsabilidade social e ambiental". A empresa está em quarto lugar no *ranking* das maiores petrolíferas de capital aberto do mundo, é a terceira maior empresa do continente americano em valor de mercado e ocupa o sexto lugar entre as maiores empresas do planeta.

4.4.2. Cia Vale do Rio Doce

A Companhia Vale do Rio Doce, hoje divulgada apenas sob o nome fantasia Vale, é a maior empresa brasileira do ramo da mineração.

A antiga empresa de economia mista, criada no governo Getúlio Vargas, é hoje uma empresa privada, de capital aberto, com sede na cidade do Rio de Janeiro, e ações negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) e na Bolsa de Valores de Nova Iorque (NYSE), integrando o Dow Jones Sector Titans Composite Index.

Em 24 de outubro de 2006 a Vale anunciou a incorporação da INCO canadense, a maior mineradora de níquel do mundo, que foi efetivada no decorrer de 2007. Após essa incorporação, o novo conglomerado empresarial CVRD Inco - que mudou oficialmente de nome em novembro de 2007 - tornou-se a 31ª maior empresa do planeta, atingindo um valor de mercado de R\$ 198 bilhões, à frente da IBM. Em 2008 seu valor de mercado foi estimado em 196 bilhões de dólares, perdendo no Brasil apenas para a Petrobras (287 bilhões) e se tornando a 12ª maior empresa do mundo.

A partir de 29 de novembro de 2007 a marca e o nome de fantasia da empresa passaram a ser apenas Vale, nome pelo qual sempre foi conhecida nas bolsas de valores, mas foi mantida a razão social original Companhia Vale do Rio Doce.

4.4.3. Cia Siderúrgica Nacional

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) é a maior indústria siderúrgica da América Latina e uma das maiores do mundo. Sua usina situa-se na cidade de Volta Redonda, na região do Vale do Paraíba, no sul do estado do Rio de Janeiro, tendo suas minas de minério de ferro e outros minerais na região de Congonhas e Arcos, ambas cidades do estado de Minas Gerais e também de carvão na região de Siderópolis no estado de Santa Catarina.

Sua principal usina hoje produz cerca de 6 milhões de toneladas de aço bruto e mais de 5 milhões de toneladas de laminados por ano, sendo considerada uma das mais produtivas do mundo.

4.4.4. Usiminas

A Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A ou Usiminas pertencente ao Sistema Usiminas (*Holding*) é uma empresa do setor siderúrgico líder na produção e comercialização de aços planos laminados a frio e a quente, bobinas, placas e revestidos, destinados principalmente aos setores de bens de capital e de bens de consumo da linha branca, além da indústria automotiva. Fundada em 25 de abril de 1956 em Ipatinga (Vale do Aço, a 220 km de Belo Horizonte de capital de Minas

Gerais - (Brasil). Sua sede administrativa encontra-se em frente à Universidade Federal de Minas Gerais e ao lado do BH-TEC.

O Sistema Usiminas destaca-se como o maior complexo siderúrgico de aços planos da América Latina e um dos 20 maiores do mundo. A Usiminas é a líder do Sistema, formado por empresas que atuam em siderurgia e em negócios onde o aço tem importância estratégica. Atualmente, designa um *pool* de diversas empresas, estando empenhada com a transparência no relacionamento com o mercado de capitais. Atua no mercado internacional e é a maior geradora de impostos para Ipatinga, o que torna o município economicamente dependente da siderúrgica.

4.4.5. Gerdau

Gerdau é o grupo siderúrgico líder na produção de aços longos nas Américas, com unidades no Brasil, Argentina, Chile, Colômbia, Peru, Uruguai, México, República Dominicana, Venezuela, Guatemala, Estados Unidos e Canadá. O Grupo Gerdau também possui 40% de participação em negócios da *Corporación Sidenor*, da Espanha e uma *joint venture* com o Grupo *Kalyani* da Índia. Possui capacidade instalada de 26 milhões de toneladas de aço por ano e fornece aço para os setores da construção civil, indústria e agropecuária.

O Grupo Gerdau é um dos agentes do processo de consolidação da siderurgia mundial. É o 13º maior produtor de aço do mundo. Possui 337 unidades industriais e comerciais nos 14 países onde atua e emprega mais de 46 mil funcionários. Seus produtos, comercializados para os cinco continentes, atendem os setores da construção civil, indústria e agropecuária. Possui ações listadas nas bolsas de valores de São Paulo, Nova Iorque, Toronto e Madri.

4.4.6. Eletrobrás

A Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. É uma empresa de economia mista e de capital aberto sob controle acionário do Governo Federal brasileiro e atua como uma *holding*, controlando empresas de geração e transmissão de energia elétrica.

Criada em 1962 para coordenar todas as empresas do setor elétrico, a reestruturação do setor reduziu as responsabilidades da empresa, com a criação da

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, do Operador Nacional do Sistema - ONS, da Câmara Comercializadora de Energia Elétrica - CCEE e da Empresa de Pesquisa Energética EPE.

4.4.7. Souza Cruz

A Souza Cruz é uma produtora de cigarros brasileira, subsidiária da *British American Tobacco*. Foi fundada por Albino Sousa Cruz em abril de 1903 no Rio de Janeiro, dando origem a um dos cinco maiores grupos empresariais do Brasil que detêm a liderança no mercado nacional há mais de 50 anos. As marcas de seus cigarros são vendidas em mais 180 países do mundo. A empresa conta com mais de seis mil funcionários e chega a empregar nove mil pessoas no período de compra e beneficiamento de fumo. Possui duas fábricas no país (Cachoeirinha no Rio Grande do Sul e Uberlândia em Minas Gerais), e quatro usinas de processamento (Santa Cruz do Sul, Blumenau, Rio Negro e Patos).

4.4.8. Brasil Telecom

A Brasil Telecom S.A. (*BrT*) é uma empresa de telecomunicações do Brasil, originada da privatização da Telebrás. Outrora conhecida por Tele Centro Sul, atua nos estados de Acre, Rondônia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, além do Distrito Federal e oferece, para todo o País, serviços de longa distância nacional e internacional com o código 14.

A empresa provê conexão à internet em alta velocidade com o *Turbo*, que usa a tecnologia ADSL, oferece conteúdo 100% banda larga (*BrTurbo* e *BrTurbo Empresas*) e acesso sem fio com tecnologia *Wi-Fi* com o *BrTurbo ASAS*. Também compõem o Grupo Brasil Telecom o *iG* e o *iBest*, que juntos fazem da empresa a maior provedora de internet da América Latina.

A companhia conta com 10,8 milhões de linhas fixas em serviço e a segunda maior base de acessos banda larga da América Latina (1,3 milhões de acessos). Em pouco mais de dois anos, a operação celular já superou a marca de 5,1 milhões de acessos, desempenho que surpreendeu o mercado mundial de telecomunicações e

que lhe garantiu a primeira posição em conquista de fatia de mercado entre operadoras que foram “quarta entrante” em seus mercados.

4.4.9. Ambev

A Companhia de Bebidas das Américas - AmBev é uma indústria privada de bens de consumo do Brasil, tendo nascido da fusão entre a Antarctica e a Brahma. Esta última era controlada pelos antigos donos do Banco Garantia: Jorge Paulo Lehman, Carlos Alberto Sucupira e Marcel Telles; estes dois últimos acabaram virando dirigentes da AmBev.

Dentro de um processo controverso, a Ambev associou-se à cervejaria belga Interbrew e o resultado desta associação foi a criação da InBev, uma das principais cervejarias do mundo. Há dúvidas se a Ambev continua a ser uma empresa nacional, ou se é apenas uma subsidiária da Interbrew/Inbev.

A Ambev domina boa parte do mercado de bebidas no Brasil, onde também produz e distribui a marca Stella Artois no Brasil. Têm licença para os produtos da Pepsi Co. no Brasil.

4.4.10. Marcopolo

A Marcopolo é uma empresa brasileira líder mundial na fabricação de carrocerias de ônibus, com sede na cidade de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul.

Foi fundada em 6 de agosto de 1949 sob a denominação Nicola & Cia. Ltda. Em 1968 passou a chamar-se Marcopolo, até 1971, quando passou a denominar-se Marcopolo S.A. Carrocerias e Ônibus. Desde 1992 denomina-se Marcopolo S.A..

Possui fábricas nos seguintes países: Brasil, Portugal, Argentina, México, Colômbia e África do Sul. Atua no mercado com marcas próprias como Marcopolo e Ciferal, além da marca Volare, em parceria com a Agrale, com a qual atua na produção de ônibus de pequeno porte.

4.5. Tabela com dados referentes às empresas selecionadas

Na tabela 2, segue todos os dados financeiros das empresas listadas. Esses dados são da data 29 de abril de 2009.

Empresa	Código	P/L	Dividendos (%)	Quantidade de Ações	Lucro Líquido (R\$)	Preço (R\$)
Petrobrás	PETR4	7,63	3,1	8.774.080.000	32.987.800.000	28,69
Vale	VALE5	7,49	3,5	5.365.300.000	21.279.600.000	29,70
CSN	CSNA3	5,37	10	793.404.000	5.774.150.000	39,05
Usiminas	USIM5	5,01	7,6	506.893.000	3.224.430.000	31,88
Gerdau	GGBR4	7,41	5,2	1.431.380.000	2.881.240.000	14,92
Ambev	AMBV4	23,59	4,7	614.936.000	3.059.480.000	117,35
Brasil Telecom	BRT04	7,23	4,5	560.950.000	1.029.820.000	13,28
Souza Cruz	CRUZ3	11,07	9,2	305.690.000	1.212.120.000	43,90
Marcopolo	POMO4	7,74	5	224.225.000	134.446.000	4,64
Eletrobrás	ELET5	5,72	6,7	1.132.360.000	6.136.500.000	31,00

Tabela 2. Dados financeiros retirados de [4].

4.6. Solução Retornada

O princípio da otimização multiobjetiva é caracterizado por retornar ao usuário um conjunto de soluções que atendam a determinados objetivos, e permitir que ele escolha, baseado em informações não técnicas e qualitativas, a solução que lhe for mais conveniente.

Por isso, um conjunto de boas carteiras será sugerida como solução. Essas carteiras sugeridas correspondem a todos os indivíduos que estejam classificados, ao final de 10.000 gerações, no primeiro *front* (indivíduos não dominados por nenhum outro indivíduo da população) e, portanto, posicionados no gráfico ao longo

da linha de Pareto. Cada solução terá um diferente *trade off* entre seus objetivos. Caberá então ao usuário priorizar os objetivos escolhidos a fim de se obter uma solução que melhor se adeque a seu perfil de investidor.

Nessas soluções os indivíduos serão apresentados como definido previamente nesse capítulo. Esses indivíduos irão conter uma lista de empresas com a quantidade sugerida para compra de cada ação.

A figura 9 mostra um exemplo de solução retornada pelo sistema. Para esse exemplo foram considerados dois objetivos: Preço/Lucro e Preço/Ativos. Esse conjunto contém algumas sugestões que não são dominadas por nenhuma outra. Os indivíduos pertencentes a esse conjunto são os de cor azul.

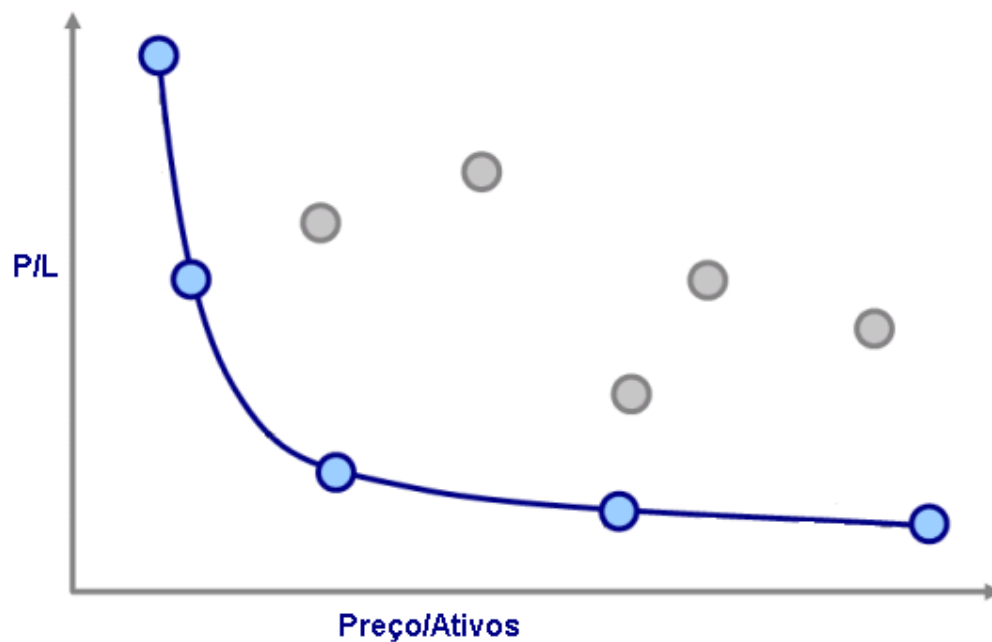


Figura 9. Exemplo de conjunto de sugestões retornadas.

Capítulo 5

Análise de Resultados

Para conseguir obter um resultado final satisfatório, o trabalho de implementação foi dividido em etapas. A primeira etapa consistiu na implementação de um algoritmo genético que minimizasse uma função monoobjetiva qualquer. Em seguida, foi dado início à implementação do NSGA-2. Essas foram duas etapas muito importantes, pois foi nela que foram introduzidos todos os conceitos relacionados aos algoritmos genéticos e otimizações multiobjetivos necessários para a realização do trabalho realizado.

Depois de introduzidos os conceitos relacionados ao trabalho e implementados esses algoritmos descritos acima, a última etapa será adaptar os algoritmos a fim de se trabalhar com dados demonstrativos financeiros de empresas, que é o enfoque do problema proposto.

Nesse capítulo será feita uma avaliação dos resultados obtidos com a realização do projeto. Para fazer uma análise do funcionamento do algoritmo como um todo, é necessário que sejam analisados os resultados de cada etapa (tanto a que diz respeito ao algoritmo genético implementado como a que diz respeito ao NSGA-2). Para o melhor entendimento dos resultados gerados a partir do sistema, essas análises deverão ser feitas isoladamente.

Em todas as análises feitas nesse capítulo foram utilizados os operadores genéticos como definidos no capítulo 4, foram utilizados 15 indivíduos por geração e o valor R\$ 1.000,00 foi adotado como valor disponível pelo usuário para investimento.

5.1. Resultado Algoritmo Genético Monoobjetivo

Para a análise do funcionamento do algoritmo genético, apenas uma característica do indivíduo deverá ser escolhida para ser otimizada (otimização de apenas um objetivo). Como o indicador Preço/Lucro (P/L) é considerado um bom ponto de partida para a identificação de subvalorização e sobrevalorização de empresas em relação a seus preços de cotação, o parâmetro do indivíduo escolhido para ser avaliado foi o Preço/Lucro geral.

Como no caso do indicador Preço/Lucro, o processo de otimização envolve a minimização dele, o papel do algoritmo genético será obter o menor Preço/Lucro Geral possível ao longo das gerações.

Nessa fase, como a melhoria da solução envolve a otimização de apenas um objetivo, é esperado que a carteira recomendada para compra pelo sistema seja composta de várias ações de uma mesma empresa. Essa empresa será, provavelmente, a que possuir o menor Preço/Lucro entre as empresas selecionadas.

A figura 9 mostra o comportamento do Preço/Lucro Geral ao longo das gerações. Nela pode ser observado o Preço/Lucro Geral do melhor indivíduo da população em função do número de gerações.

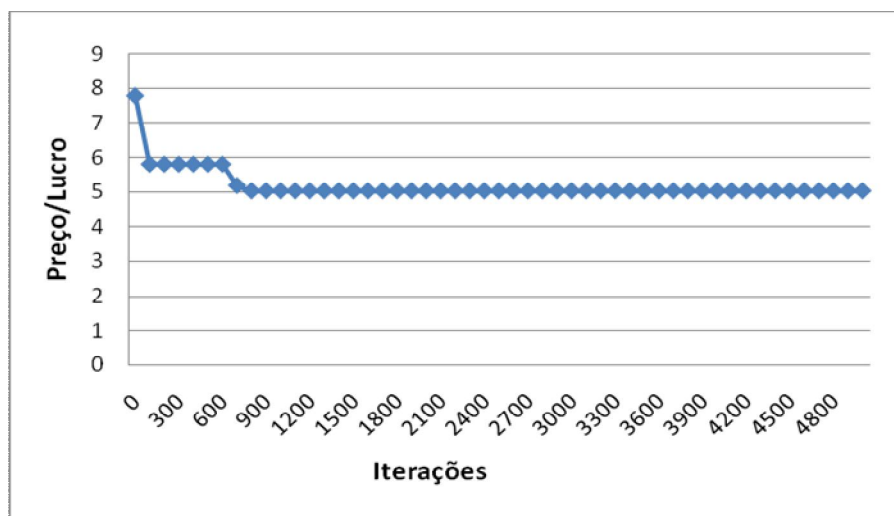


Figura 10. Evolução do Preço/Lucro ao longo das gerações.

Como é possível observar na figura 9, logo que se inicia a execução do algoritmo (geração 0) o melhor indivíduo da população possui o Preço/Lucro Geral igual a 7,776488. Nessa primeira geração, as quantidades sugeridas para compra associadas a cada ação são geradas de forma totalmente aleatória. Por causa disso, dificilmente será obtido um bom resultado logo na primeira geração.

Já na geração 100, o valor do Preço/Lucro Geral do melhor indivíduo da população desce para 5,790198 e assim permanece até que a execução do algoritmo atinja a geração de número 600. Esse valor permanece o mesmo por um grande número de gerações, visto que nenhum indivíduo obtido em cada uma das gerações entre 100 e 600 tinha o indicador escolhido melhor que 5,790198.

Na geração 700, o Preço/Lucro Geral cai um pouco para 5,163233. Porém esse valor não permanece por muito tempo como solução candidata e logo (na geração de número 800) é substituída pelo valor 5,011661 que permanece até a geração de número 5000 e, portanto, é a solução do problema apresentado.

A partir desse resultado, é possível perceber que o Preço/Lucro Geral final (na geração 5.000) foi igual ao Preço/Lucro da empresa cujo indicador é o menor entre todas as empresas escolhidas. A empresa cujo Preço/Lucro dela é igual ao Preço/Lucro Geral é a Cia Siderúrgica Nacional. Esse fato confirma o que já se era previsto, como mencionado anteriormente.

Com esse resultado, pode-se afirmar que o algoritmo genético implementado alcançou seu objetivo principal que era de minimizar o Preço/Lucro de uma carteira de ações. Por isso, é razoável afirmar que o resultado satisfatório foi atingido.

5.2. Resultado do NSGA-2

Para a análise do funcionamento do NSGA-2, mais de uma característica do indivíduo deverão ser escolhidas para serem otimizadas (otimização multiobjetiva). Com o objetivo de facilitar o julgamento dos resultados obtidos, além de tornar a construção do gráfico para análise uma tarefa mais simples, foram escolhidos

apenas dois objetivos. Entretanto, mais objetivos podem ser incluídos na ferramenta de simulação a qualquer instante.

O segundo parâmetro escolhido foi a Distribuição de Dividendos. O motivo da escolha desse indicador foi o fato dele ter uma grande influência sobre o retorno obtido pelo acionista em um longo prazo.

Ao contrário da otimização do Preço/Lucro, a otimização do Dividendo envolve a maximização de seu valor. Portanto, o objetivo final do algoritmo envolverá tanto a maximização dos Dividendos como a minimização do Preço/Lucro da carteira de ações sugerida para compra.

Como é necessário se otimizar mais de um objetivo, o provável é que o sistema apresente como resultado não apenas uma solução com a carteira ideal, mas um conjunto de soluções. Cada uma dessas soluções sugerida terá um diferente *trade off* entre os objetivos a serem otimizados.

Nas seções seguintes, serão analisados vários pontos da execução do algoritmo desenvolvido. Essa análise será realizada considerando os dois indicadores gerais escolhidos. Como já citado anteriormente, os indicadores gerais são calculados tirando-se a média aritmética ponderada de todos os indicadores das empresas cujos papéis (ações) façam parte da carteira recomendada pelo sistema.

Ao longo das gerações, será possível identificar a formação da linha de Pareto. A linha de Pareto, como descrito anteriormente, é composta por todos os indivíduos não dominados da mesma geração.

5.2.1. Geração 0

A figura 10 apresenta os resultados após a primeira geração do algoritmo. O gráfico mostra a relação entre o Preço/Lucro e os Dividendos distribuídos por cada indivíduo da geração. Nela pode-se identificar uma grande dispersão entre os pontos. Isso ocorre porque o algoritmo não evoluiu o suficiente.

Na figura podemos observar que os indivíduos melhores (aqueles que não são dominados) de acordo com os parâmetros escolhidos para serem analisados

são três. Um é o indivíduo que possui o menor Preço/Lucro (Dividendos igual a 4,35641 e P/L igual a 7,356061) geral, outro é o que distribui a maior quantidade de dividendos (Dividendos igual a 7,786207 e P/L igual a 20,75809) entre os indivíduos gerados e uma terceira opção que é uma solução mais balanceada.

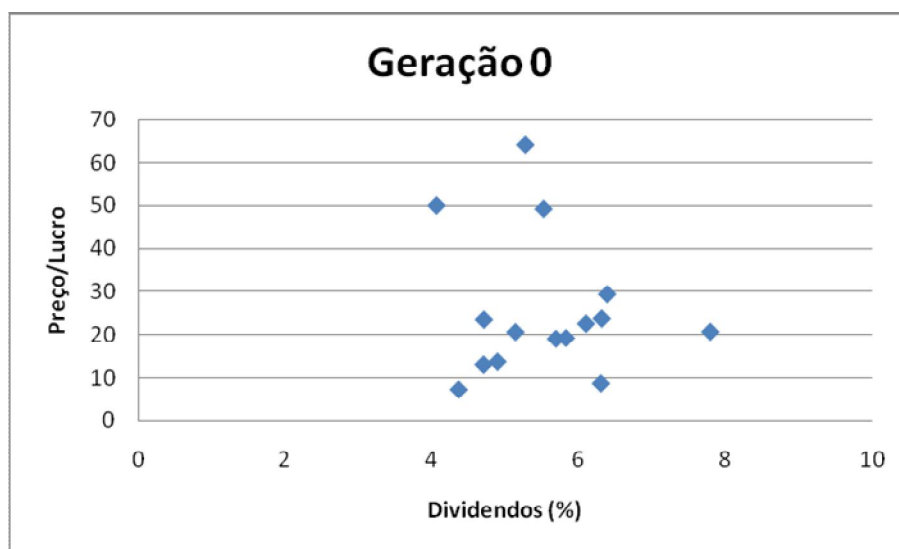


Figura 11. Distribuição dos indivíduos na primeira geração.

5.2.2. Geração 3.500

No gráfico contido na figura 11 estão ilustrados os membros da população na geração 3.500. Nela pode-se observar que a margem de valores possíveis principalmente para o indicador Preço/Lucro diminuiu consideravelmente, e que os indivíduos estão bem mais próximos um do outro. Isso indica que o algoritmo está convergindo ao longo das gerações.

É possível perceber também, através do gráfico, que há cinco soluções não dominadas, ou seja, pertencentes ao primeiro *front*. Todos os indivíduos do primeiro *front* possuem valores de Preço/Lucro Geral entre 5,284008 e 5,365712 e valores de Dividendos Geral entre 9,446154 e 10. Esses indivíduos começam a delinear o Pareto *front*.

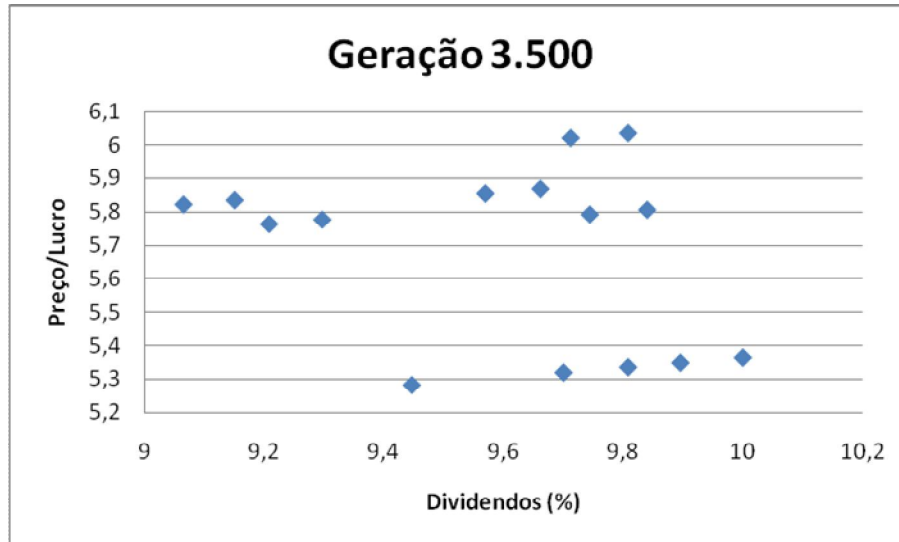


Figura 12. População do NSGA-II na geração de número 3.500.

5.2.3. Geração 7.000

O próximo passo é a análise da evolução das soluções na geração 7.000. Pode-se observar na figura 12 que os indivíduos estão dispostos em torno de uma linha bem definida. Isso mostra a convergência desse geração em relação à geração 3.500.

Nessa geração há quatro indivíduos no primeiro front. Os valores de Preço/Lucro Geral e Dividendos Geral dos indivíduos do primeiro front são, respectivamente: Preço/Lucro Geral igual a 5,321456 e Dividendos Geral igual a 9,7; Preço/Lucro Geral igual a 5,365712 e Dividendos Geral igual a 10; Preço/Lucro Geral igual a 5,284008 e Dividendos Geral igual a 9,446154; Preço/Lucro Geral igual a 5,337388 e Dividendos Geral igual a 9,808; e Preço/Lucro Geral igual a 5,350319 e Dividendos Geral igual a 9,895652.

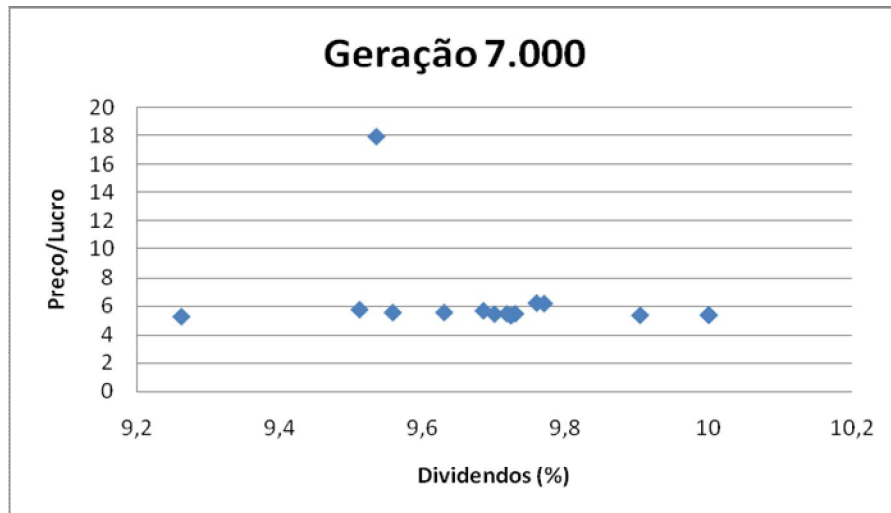


Figura 13. População do NSGA-II na geração de número 7.000.

5.2.4. Geração 10.000

Por fim, na figura 13 estão ilustrados os indivíduos da última geração (geração 10.000). Essa geração possui quatro indivíduos no primeiro *front*. Esses indivíduos irão compor o conjunto de soluções finais que será dado ao usuário como resposta do sistema. Caberá ao usuário avaliar a relação entre os objetivos para se chegar a um resultado que melhor se encaixe em seu perfil de investidor.

Mais adiante, serão feitos comentários a respeito dos indivíduos que fazem parte do primeiro *front* na geração 10.000.

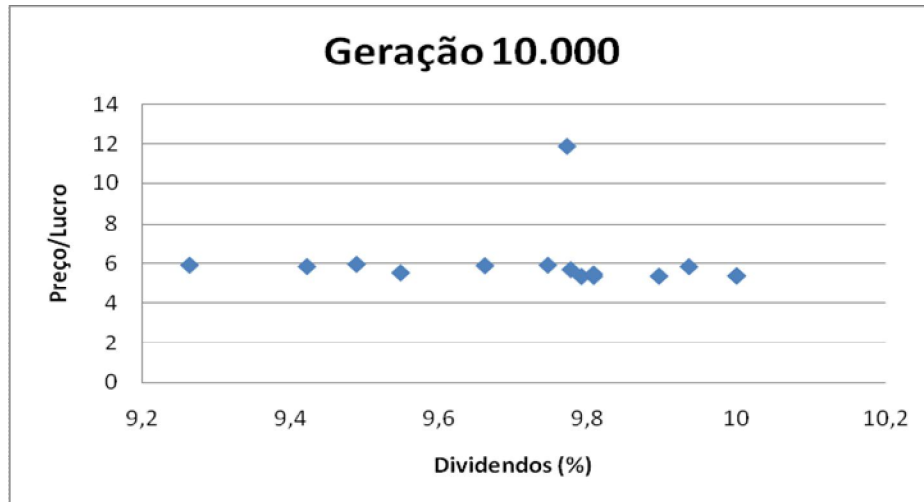


Figura 14. População do NSGA-II na geração de número 10.000.

5.2.5. Evolução das Soluções ao Longo das Gerações

A figura 14 ilustra a evolução das soluções ao longo das gerações. Nela, é possível visualizar todos os indivíduos que compõem o primeiro *front* em quatro gerações diferentes. As gerações escolhidas para serem ilustradas foram as de número: 500 (quinhentos), 3.500 (três mil e quinhentos), 7.000 (sete mil) e 10.000 (dez mil).

Pode ser observado no gráfico que, ao longo das gerações, os indivíduos pertencentes ao primeiro front (indivíduos não dominados por nenhum outro dentro da geração) convergiram. Essa propriedade caracteriza o funcionamento correto do algoritmo genético multiobjetivo.

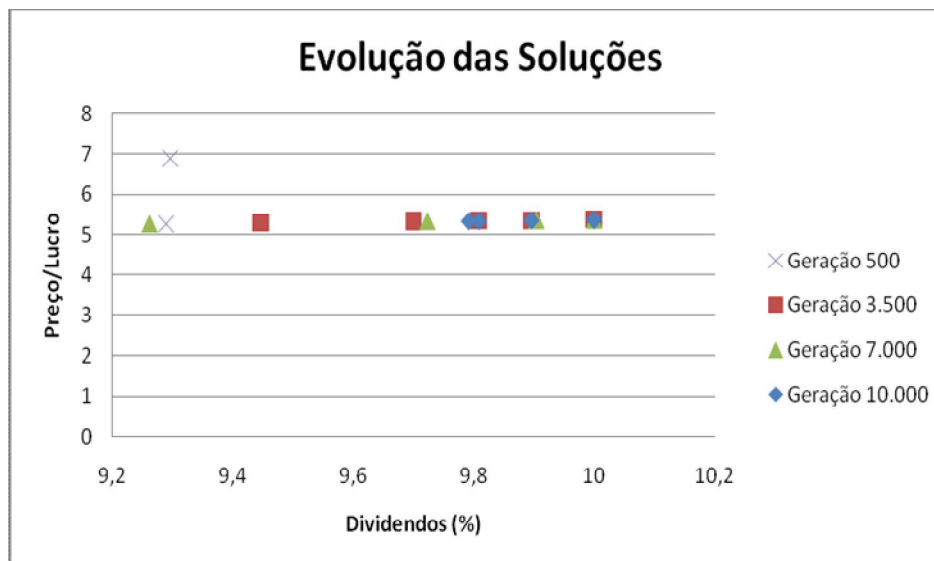


Figura 15. Primeiros fronts das respectivas gerações.

5.2.6. Determinação da Solução Final do Sistema

A figura 15 ilustra as soluções não dominadas depois da última geração as quais o usuário tomará conhecimento. Farão parte dessa solução, como já mencionado, todos os indivíduos que irão compor o primeiro *front* (conjunto de soluções não dominadas por nenhuma outra) da última geração.

Esse conjunto de carteiras possíveis para compra é composto de 4 sugestões diferentes. Ficará a cargo do usuário definir se algum indicador entre os escolhidos deverá ser priorizado (ou não). Com isso em mãos, ficará fácil definir, entre as soluções sugeridas, a que melhor se encaixa em seu perfil de investidor.

A primeira solução a ser comentada é a de menor Preço/Lucro Geral obtido. O indivíduo possui Preço/Lucro Geral igual a 5,334925 e Dividendos Geral igual a 9,791304. Esses indicadores serão obtidos com a compra de 21 (vinte e uma) ações da empresa Cia Siderúrgica Nacional e 2 (duas) ações da empresa Usiminas.

A segunda solução a ser comentada é a de maior Dividendos Geral obtido. O indivíduo possui Dividendos Geral igual a 10 (dez) e Preço/Lucro Geral igual a 5,365712. Como pode ser observado, esses indicadores coincidem exatamente com os indicadores da empresa Cia Siderúrgica Nacional. Isso ocorre pelo fato da

carteira sugerida ser composta de apenas ações da siderúrgica. A quantidade sugerida para compra foi 25 (vinte e cinco).

Irão ser comentado agora os resultados balanceados, ou seja, aqueles que não estão localizados nas extremidades do gráfico. O primeiro indivíduo possui Preço/Lucro Geral igual a 5,337388 e Dividendos Geral igual a 9,808. Esses indicadores serão obtidos com a compra de 23 (vinte e três) ações da empresa Cia Siderúrgica Nacional e 2 (duas) ações da empresa Usiminas.

O segundo indivíduo intermediário possui Preço/Lucro Geral igual a 5,350319 e Dividendos Geral igual a 9,895652. Esses indicadores serão obtidos com a compra de 22 (vinte e duas) ações da empresa Cia Siderúrgica Nacional e 1 (uma) ações da empresa Usiminas.

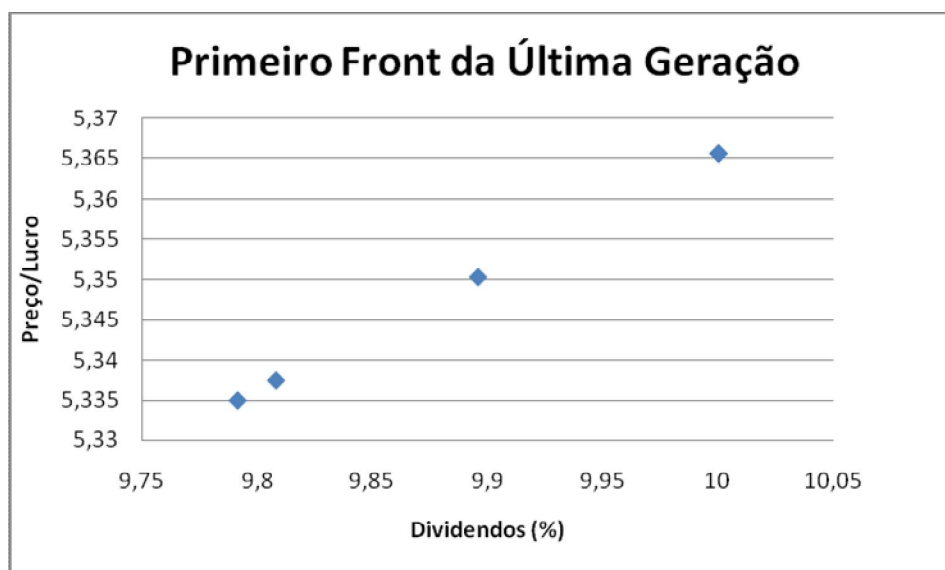


Figura 16. Soluções finais do sistema.

Como pode ser observado nos parágrafos anteriores, as sugestões de compra obtidas com a execução do algoritmo genético multiobjetivo tiveram uma pequena variação nas carteiras. Todas as melhores soluções indicaram a compra de ações da Cia Siderúrgica Nacional (inclusive com predominância nas quantidades) e quase todas as sugestões indicaram compra de pelo menos uma ação da Usiminas. Isso leva a crer que a melhor opção de compra, segundo os indicadores escolhidos

é a ação da CSN seguida pela ação da Usiminas. Obviamente, essa suposição só é válida para o preço de cotação e indicadores do dia 29 de abril de 2009.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho propôs a aplicação de uma técnica de inteligência computacional bem conhecida (algoritmo genético multiobjetivo) em análise financeira de empresas cujas ações são negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo. Essa técnica foi utilizada na seleção de atributos em tarefas de auxílio à decisão para a escolha de uma carteira de ações de boas empresas.

O principal objetivo deste projeto foi a eliminação do trabalho desnecessário que o analista financeiro tem na seleção de uma carteira ideal. Usando conceitos de dominância em indicadores financeiros pode-se diminuir consideravelmente o domínio de empresas a ser analisada, restringindo a um pequeno grupo.

Com isso, o analista obterá uma gama de sugestões de carteira de ações otimizadas do ponto de vista dos indicadores escolhidos. Cada sugestão de carteira conterà um diferente *trade off* entre os indicadores escolhidos. Caberá então ao usuário priorizar os indicadores a fim de chegar à uma solução que melhor se adeque ao seu perfil.

Algumas dificuldades foram encontradas ao longo do desenvolvimento do projeto. A primeira foi a escolha da melhor técnica de computação inteligente que se encaixasse ao problema proposto. Outras dificuldades significativas foram duas. Primeiro, a definição da codificação do indivíduo e como a solução seria apresentada, segundo a definição de como seriam feitas as operações genéticas, principalmente a mutação. A mutação foi um pouco mais trabalhosa pelo fato de nela estar inserida uma função de ajuste de valor que tem por função o alinhamento entre o valor disponível pelo usuário e o valor sugerido pelo sistema para ser investido.

Ao final do trabalho, seus resultados se mostraram bastante coerentes e os objetivos almejados foram alcançados. Isso provou, a princípio, a eficiência e a aplicabilidade de algoritmos genéticos em análise financeira de empresas.

Como propostas para trabalhos futuros, um banco de dados deverá ser modelado para armazenar históricos de informações financeiras das empresas cujas ações são negociadas na BOVESPA. Uma rotina que leia um arquivo excel (*.xls) no formato em que estão os arquivos disponibilizados em [4] e grave no banco de dados modelado também deverá ser desenvolvida. Essa rotina tem por objetivo, além da carregar o banco de dados, fazer a atualização dele sempre que desejado.

Além disso, novas funcionalidades poderão ser adicionadas como, por exemplo, o cálculo da margem de segurança proposto por Benjamin Graham em seu livro “O Investidor Inteligente” [7]. O cálculo da margem de segurança faz uma comparação entre o poder de lucro da empresa e o rendimento de um investimento em títulos do governo e é uma fórmula definida por Graham que tenta identificar momentos de compra e venda de ações de empresas.

Outra funcionalidade seria permitir que, além da otimização dos indicadores padrão, o usuário possa escolher os indicadores que deseja otimizar. Isso daria uma maior flexibilidade ao usuário e atenderia usuários de diferentes perfis.

Por fim, pode-se dar ao usuário a possibilidade de fazer a comparação de empresas por setor de atuação. Esse ponto é de grande importância, pois há indicadores que não podem ser objetos de comparação entre empresas de setores diferentes. Isso ocorre pelo fato de que cada setor específico possui uma margem de normalidade de acordo com o indicador utilizado. Por exemplo, uma empresa do setor comercial tende a ter uma maior liquidez corrente que empresas do setor industrial.

Bibliografia

- [1] CORNE D, JERRAM NR, KNOWLES J, OATES J. **PESA-II: Region-based Selection in Evolutionary Multiobjective Optimization**. In: Proceeding of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO - 2001), San Francisco, CA, 2001.
- [2] DEB, Kalyanmoy, et al. **A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm For Multi-Objective Optimization: NSGA-II**. In: Indian Institute of Technology Kanpur. Kanpur, India.
- [3] ETSnet. **BMF&BOVESPA – A Nova Bolsa**. Disponível em www.bovespa.com.br. Acesso em 29 de Abril de 2009.
- [4] ETSnet. **Fundamentus – Investa Consciente**. Disponível em www.fundamentus.com.br. Acesso em 29 de abril de 2009.
- [5] FILITTO, Danilo. **Algoritmos Genéticos: Uma Visão Explanatória**. Revista Multidisciplinar da UNIESP. São Paulo. Nº 06, dez/2008.
- [6] FONSECA CM, FLEMING PJ. **Multiobjective Genetic Algorithms**. In: IEE Colloquium on 'Genetic Algorithms for Controls Systems Engeneering' (Digest No. 1993/130), 28 May 1993. London, UK: IEE; 1993.
- [7] GRAHAM, Benjamin. **O Investidor Inteligente**. 4. ed. Jardim Botânico Partners. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2007. 671 p.
- [8] HENDRIKSEN, Élson S. e BREDA, Michael F. Van. **Teoria da Contabilidade**. São Paulo: Atlas, 1999.
- [9] HORN J, NAFPLIOTS N, GOLDBERG DE. **A Niche Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization**. In: Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation. IEEE World Congress on Computational Intelligence, 27-29 June, 1994. Orlando, FL, USA: IEEE; 1994.

- [10] IUDICIBUS, Sérgio de. **Análise de Balanço, Análise da Liquidez e do Endividamento, Análise de Giro, Rentabilidade e Alavancagem Financeira.** São Paulo, Atlas, 1998.
- [11] KNOWLES JD, CORNE DW. **Approximating the Nondominated Front Using the Pareto Archived Evolution Strategy.** *Evol Comput* 2000; 8(2): 149-72.
- [12] KONAK, Abdulah, et al. **Multi-Objective Optimization Using Genetic Algorithms: A Tutorial.** In: *Information Sciences and Technology*, 2006, Penn State Berks, USA.
- [13] MATARAZZO, Dante C. **Análise Financeira de Balanço, Abordagem Básica e Gerencial,** São Paulo: Atlas 1998.
- [14] PAPPA, Gisele. **Seleção de Atributos Utilizando Algoritmos Genéticos Multiobjetivos.** 2002. Dissertação de Mestrado em Informática Aplicada, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- [15] SRINIVAS N, DEB K. **Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms.** *J Evol Comput* 1994; 2(3): 221-48.
- [16] ZITZLER E, THIELE L. **Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach.** *IEEE Trans Evol Comput* 1999; 3(4): 257-71.
- [17] ZITZLER E, LAUMANN M, THIELE L. **SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm.** Swiss Federal Institute Technology: Zurich, Switzerland; 2001.