**Modelos de Regressão Logística aplicados a churn de clientes - estudo de caso**

Emerson Donizeti Batista¹\*;Mateus Modesto2

1 Analista de Sistemas. Rua Alberto Segalla, 1-33 – apto 411 – Jd. Infante Dom Henrique. 17012-634 Bauru, São Paulo, Brasil.

**Modelos de Regressão Logística aplicados a “churn*”* de clientes - estudo de caso**

**Resumo**

Devido aos constantes avanços nas áreas do conhecimento direcionados à previsão dos comportamentos dos clientes em diversas áreas, a utilização de modelos matemáticos se mostra útil e necessária para se construir modelos preditivos com relação a “churn” de clientes, ou seja, a previsão de que um cliente possa a vir a cancelar um serviço. O presente trabalho se destina a analisar os resultados obtidos através de algoritmos de Regressão Logística Binaria Multinomial numa base de dados de cliente de telecomunição em sua perspectiva do *churn*, ou seja, do cancelamento dos clientes no último mês analisado. Através das análises realizadas utilizando a linguagem R (e o RStudio com seus pacotes de estatística), com indicadores como máxima verossimilhança “Log Likelihood” [LL], “Akaike Information Criterion” [AIC] e Sensibilidade, Sensitividade e Acuracidade, tem-se a noção avaliação destes modelos “Generalized Linear Models” [GLM].

**Palavras-chave:** Regressão Logística, Churn

“Forecasting models applied to customer churn - case study”

**Abstract**

Due to the constant advances in the areas of knowledge aimed at predicting customer behavior in several areas, the use of mathematical models proves to be useful and necessary to build predictive models regarding customer churn, that is, the prediction that a customer will may cancel a service. The present work is intended to analyze the results obtained through Multinomial Binary Logistic Regression algorithms in a telecommunication customer database in its churn perspective, that is, the cancellation of customers in the last analyzed month. Through the analyzes carried out using the R language (and RStudio with its statistical packages), with indicators such as maximum likelihood [LL], “Akaike Information Criterion” [AIC], Sensitivity, Sensitivity and Accuracy.

**Keywords: Logistic Regression, Churn**

**Considerações Iniciais**

É geralmente mais caro conquistar novos clientes do que manter os já existentes. Em muitos setores, o custo de aquisição de novos clientes pode ser cinco vezes superior ao seu custo de retenção (Kurtz e Clow, 1998). Na indústria de telecomunicações, por exemplo, o custo de aquisição foi empiricamente auferido entre cinco e oito vezes superior ao custo de retenção do cliente (AU e outros., 2003).

Conhecer melhor o cliente é o desafio para qualquer organização que busca elevar seu nível de atendimento, bem como seus resultados financeiros. Uma vez indicados os fatores críticos de sucesso, seja por pesquisas ou análise de bases-de-dados, emerge a necessidade de obter predição e inteligência através de modelos matemáticos e estatísticos.

Por exemplo, em vez de focar em todos os “prospects” ou fornecer incentivos iguais para todos, uma empresa pode selecionar apenas aqueles clientes que se enquadram em certos critérios de rentabilidade, baseados nas necessidades individuais e padrões de compra (PriceWaterHouseCoopers, 1999). Neste sentido, reforçam Bounsaythip e Rinta-Runsala (2001) que isso pode ser conseguido através da construção de modelos de predição do valor futuro de um indivíduo baseado em dados demográficos, estilo de vida ou comportamentos anteriores. O modelo produz informações que irão focar tanto a retenção quanto programas de recrutamento, a fim de construir e manter a base de clientes mais rentável. A isso se dá o nome de “customer behavior modeling”[CBM]ou perfil de cliente. A identificação do perfil de cliente é uma ferramenta para focar no melhor entendimento de marketing sobre as características de sua base de dados.

A motivação de longo prazo para a montagem de perfis de consumidores é converter este entendimento numa interação automatizada com esses consumidores, como afirmam Berson & Thearling (2001). Estes reforçam que para estas tarefas os mercados precisam de vasta gama de processos e ferramentas de tecnologia. Estas ferramentas têm sido usadas para coletar dados e simplificar os processos de extrair conhecimento sobre o mercado e planejar campanhas de marketing. As ferramentas de mineração de dados têm sido usadas para identificar grupos significativos em dados históricos. Por exemplo, aplicam-se a critérios de seleção para mala-direta, ou identificar mercados com alto potencial, ou mídias ou estilos de vida que vão ao encontro dos consumidores. Em suma, tais ferramentas possibilitam encontrar padrões humanos de comportamento que descrevem os dados; eles também permitem utilizar algumas variáveis para predizer valores futuros ou desconhecidos de outras variáveis.

Assim, a busca por compreensão dos mecanismos de explicação para tomada de decisões dos clientes, aplicada à questão dos cancelamentos (“churn”), se alinha com esta necessidade premente de se compreender o comportamento do cliente. A proposta será de discutir modelo matemático estatístico para ajudar na compreensão do fenômeno, ainda que existam vários outros, pois, conforme salienta (Dio, 1979) se a verdade é uma só – ainda que, por vezes, vista de ângulos diferentes –, os caminhos que conduzem os pesquisadores a ela podem ser diversos. E a diversidade de métodos, mais do que um inconveniente, é uma vantagem. Sendo assim, quando, por técnicas ou processos diferentes, se chega à mesma conclusão, há maior razão para aceitá-la.

Analisando as plataformas online de publicações acadêmicas (Google Scholar, Elsevier e SciELO), encontramos em torno de 18.000 trabalhos sobre o “churn” de clientes da área de telecom desde 2017. Eis alguns exemplos: *"A Churn Prediction Model Using Random Forest: Analysis of Machine Learning Techniques for Churn Prediction and Factor Identification in Telecom Sector"* (Ullah e outros, 2019). Foi utilizada também a técnica de *boosting* no trabalho *"A Customer Churn Prediction Model in Telecom Industry Using Boosting"* (LU, 2012). Inúmeros outros trabalhos tiveram outras abordagens, reforçando a importância do tema e da atenção que tem merecido entre os pesquisadores.

Especificamente a utilização de GLM [Generalized Linear Models] para análise de "churn" já foi aplicada em trabalhos acadêmicos por (McGowan, Donal et al., 2011), (Dash, Singh, Kunwar & Ravendra) e por (Stripling e outros, 2015), oferecendo informações significativas de incentivo à continuidade de investigação do tema.

Da mesma família dos GLM, a técnica multinível também já foi aplicada na análise de “churn” por (Ahmed & Linen, 2017) e no trabalho realizado por (Seo, Ranganathan, Babad, 2008) que focaram na análise de “churn” em área de “telecom”. Portanto, essa linha de análise com utilização de métodos da família GLM já possui importantes trabalhos anteriores realizados. No caso específico deste trabalho, faremos avaliação da melhor assertividade e acurácia dos resultados entre os dois modelos. Neste sentido, o resultado deste trabalho poderá reforçar, ou refutar, a aplicabilidade destas técnicas neste tipo de base de dados, pois algum dado presente pode induzir a vieses não detectadas em trabalhos anteriores.

Por fim, cumpre ressaltar que em ambientes corporativos altamente digitalizados, com informações coletadas em volume e diversidade, sabe-se que as empresas possuem um grande tesouro em suas mãos, que são os dados. Obter, analisar e compreender esses dados tem se mostrado a nova corrida do ouro, em que os mais eficazes obterão os melhores resultados e geração de riqueza. Neste sentido, concordam (Tjaden & Cohen, 2006) pois, em que pesem a enorme gama de fontes de informação, observa-se que se torna inviável, para uma grande quantidade de dados, a extração de informações sem o uso de ferramentas computacionais. Refinar e enriquecer os critérios de escolha de métodos de análises de dados reforçam a necessidade de mais trabalhos nesta linha de pesquisa.

**Implementação de Algoritmos de Machine Learning**

Os dados do problema foram obtidos da plataforma online Kaggle (“site”) de uma empresa no ramo de telecomunicações (*Telco*). Todos os códigos fontes utilizados nesta implementação se encontram no site: <https://github.com/emebatista/telco_churn_tcc>.

Através do software RStudio, com a linguagem R, foram carregados diversos pacotes auxiliares. As variáveis do problema foram essas:

|  |  |
| --- | --- |
| **Variável** | **Categoria** |
| ***CustomerId*** | Identificação da linha |
| ***Gender*** (Gênero) | dicotômica (*male* / *female*) |
| ***SeniorCitzen*** (Idoso) | dicotômica (0-1) |
| ***Partner*** (possui parceiro) | dicotômica (0-1) |
| ***Dependents*** (possui dependentes) | dicotômica (0-1) |
| ***Tenure*** (meses de uso do serviço) | quantitativa discreta |
| ***Phone Service***(possui serviço de telefone) | dicotômica (yes-no) |
| ***Multiple Lines*** (possui múltiplas linhas) | policotômica |
| ***InternetService***  (tipos de serviços de internet) | policotômica |
| ***Online Security***  (possui serviço de segurança online) | policotômica |
| ***OnlineBackup***  (possui backup online) | policotômica |
| ***DeviceProtection***  (possui dispositivo de proteção) | policotômica |
| ***TechSupport***  (possui suporte técnico) | policotômica |
| ***StreamingTV***  (possui streaming de TV) | policotômica |
| ***StreamingMovies***  (possui streaming de filmes) | policotômica |
| ***Contract***  (periodicidade do contrato) | policotômica |
| ***PaperlessBilling***  (fatura eletrônica) | dicotômica |
| ***PaymentMethod***  (forma de pagamento) | policotômica |
| ***MonthlyCharges***  (valor da fatura mensal) | quantitativa contínua |
| ***TotalCharges***  (total faturado) | quantitativa contínua |
| ***Churn*** | dicotômica |

Tabela 1 – Lista das variáveis presentes na base

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Foi observado que havia apenas 11 (onze) valores faltantes nas variáveis TotalCharges. E estas linhas foram eliminadas pare efeito do estudo.

Foram 4 (quatro) variáveis contínuas Tenure, MonthlyCharges, TotalCharges e SeniorCitizen, esta última foi convertida em variável categórica. A coluna “Churn” representa o número de clientes que deixaram o plano no último mês. Pudemos observar que 26% dos clientes deixaram a plataforma no último mês.

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Figura 1. Percentual de churn de clientes no último mês.

Na análise, pudemos verificar que “Gender” (gênero) é praticamente igual para masculino e feminino. O percentual é mais alto em pessoas mais velhas SeniorCitizen. Os consumidores com parceiros Partner e dependentes tem “Churn” menor comparado àqueles que não possuem parceiros ou dependentes.

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Figura 2. Percentual de Churn de clientes agrupados pelas variáveis gender, SeniorCitizen, Partner, Dependents, PhoneService e MultipleLines.

O “Churn” foi muito maior em casos de Fibra Ótica (FiberOptic) e serviços de internet (InternetServices). Clientes que não possuíam serviços de segurança online (OnlineSecurity), backup online (OnlineBackup) e suporte técnico (TechSupport) deixaram a plataforma no último mês.

A maioria dos clientes com assinatura mensal deixou o plano no último mês comparado com aqueles que tem plano de um ou dois anos de fidelidade. Observou-se também que aqueles que fazem pagamento de forma eletrônica tem maior churn do que os que não utilizam esta opção.

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Figura 3. Percentual de Churn de clientes agrupados pelas variáveis gender, SeniorCitizen, Partner, Dependents, PhoneService e MultipleLines. Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Figura 4. Percentual de “Churn” de clientes agrupados pelas variáveis StreamingMovies, Contract, PaperlessBilling e PaymentMethod. Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

Descrição gerada automaticamente

Figura 5. Box plot de Tenure: A mediana do tempo que os clientes saíram do plano (“Tenure”) foi de 10 meses. Fonte: Resultados originais da pesquisa.

|  |  |
| --- | --- |
| Gráfico, Gráfico de caixa estreita  Descrição gerada automaticamente  Figura 6. Box plot de MonthlyCharges: Clientes que saíram do plano tiveram maior média mensal, acima de 75 dólares.  Fonte: Resultados originais da pesquisa. | Gráfico, Gráfico de caixa estreita  Descrição gerada automaticamente  Figura 7. Box plot de TotalCharges: A média de total pago (TotalCharges) dos clientes que saíram do plano é mais baixa do que os que ficaram no plano.  Fonte: Resultados originais da pesquisa. |

Conforme verificado abaixo na Figura 8, o total pago (TotalCharges) tem correlação positiva com pagamentos mensais (MonthlyCharges) e com o tempo de permanência do cliente (“Tenure”).

Gráfico

Descrição gerada automaticamente

Figura 8. Gráfico da correlação entre as variáveis quantitativas.

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

No gráfico abaixo foram avaliadas as variáveis quantitativas para identificação de possíveis outliers. No caso, não foram identificados outliers, ficando os quartis distribuídos conforme os gráficos de box plot abaixo:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Gráfico, Gráfico de caixa estreita  Descrição gerada automaticamenteTenure | Gráfico, Gráfico de caixa estreita  Descrição gerada automaticamente  MonthlyCharges | Gráfico, Gráfico de caixa estreita  Descrição gerada automaticamenteTotalCharges |

Figura 9. Verificação de possíveis outliers nas variáveis quantitativas

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Para transformar a variável Tenure em categórica, foram criadas faixas de tempo: 0-1 ano, 1-2 anos, 2-3 anos, 3-4 anos, 4-5 anos e 5-6 anos. Após o procedimento podemos temos uma visão do tempo de permanência dos clientes através destas faixas:

Gráfico, Gráfico de barras

Descrição gerada automaticamente

Figura 10. Gráfico da distribuição do churn de clientes conforme os tempos de permanência no plano (Tenure). Fonte: Resultados originais da pesquisa.

**Generalized Linear Models [GLM]**

Desde a década de 70, foi possível o desenvolvimento computacional de modelos que exigiam iteração na estimação de parâmetros. Assim, (McCullagh & Nelder, 1989) propuseram os “Generalized Linear Models” [GLM] que consistia na ampliação da distribuição da variável de resposta, de forma que pertencesse à família exponencial de distribuições, dando flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável de resposta (μ) e o preditor linear (η). O resultado destes estudos permitiu aplicar, por exemplo, transformação na variável de resposta Y para normalizá-la utilizando a distribuição Poisson em dados de contagem, fazendo a relação funcional entre a média de Y e o preditor linear η = log μ. Isso permitiu melhoria na estimação, já que garantiria um valor positivo para quaisquer valores dos parâmetros do preditor linear.

Segundo (Fávero & Belfiore, 2017) a Regressão Logística Binária e Multinomial consiste no modelo em que há mais de duas variáveis dependentes, categóricas, binárias e variáveis independentes métricas ou não métricas. Além disso, esta relação expressa a probabilidade de ocorrência do evento diante das variáveis às quais os objetos ou sujeitos estão expostos, sendo possível uma taxa de risco de cada variável explicativa do modelo. O objetivo principal aqui é encontrar a função logística, obtida por meio da ponderação das variáveis, permitindo dar peso a estas ocorrências.

Para estimação dos parâmetros, aplicamos o processo iterativo chamado Método da Máxima Verossimilhança, ou “Maximum Likelihood Estimation”. Em seguida, foram avaliados o teste de χ2 e os resultados dos testes z para os parâmetros estimados das variáveis preditoras.

Na equação abaixo está o modelo geral da regressão Logística Binária e Multinomial:

Sendo a probabilidade de ocorrência do evento, temos que:

Probabilidade de ocorrência da categoria 0 (referência):

Probabilidade de ocorrência da categoria 1:

Probabilidade de ocorrência da categoria 2:

Para avaliação dos modelos utilizamos o R², RMSE (Erro quadrático médio) e MAPE (Erro percentual quadrático médio), conforme observados nos trabalhos de (Wallach & Goffinet, 1989) e (De Myttenaere, 2016).

A performance final geral aferida entre os modelos foi medida através do “Log Likelihood” conforme descrito em (Woolf, 1957).

Foi analisado também curva “Receiver Operating Characteristic” [ROC]. A curva ROC é uma métrica para avaliação de modelos, que permite estudar a variação para as medidas de sensibilidade e especificidade do modelo, para diferentes valores de ponto de corte (Fawcett, 2006).

Além destes utilizamos AIC e BIC para analisar modelos. Modelo com AIC menor do que outro, o BIC vai ser menor também. Estes conceitos estão discutidos em (Penny, 2012) em que discute a avaliação de performance de algoritmos através de “Bayesian information criterion” [BIC] e “Akaike Information Criterion” [AIC].

A fim de analisar multicolinearidade das variáveis, utilizamos o Fator de Inflação da Variância (VIF), conforme descrito por (Montgomery; Peck; Vining, 2006), cuja fórmula é:

Nesta fórmula, p é o número das variáveis preditoras; é o coeficiente de correlação múltipla, resultante da regressão de Xj nos outros p-1 regressores. A matriz de variâncias e covariâncias para as estimativas dos coeficientes de regressão padronizados é:

Se o valor de o valor for próximo a um, isto significa que existe uma alta correlação entre a variável Xj e as demais variáveis, então 1- estará próximo de zero e consequentemente, o VIF assumirá um valor grande, apontando para o envolvimento dessa covariável em colinearidades. Um VIF máximo acima de 10 indica que a multicolinearidade pode estar influenciando as estimativas de mínimos quadrados (Montgomery; Peck; Vining, 2006).

Para verificar se as variáveis resultantes serão úteis, podemos utilizar o fator de inflação (VIF – Variance Inflation Factor) para eliminar as preditoras redundantes, ou variáveis que possuem multicolinearidade entre elas. Sabemos que multicolinearidade existe quando duas ou mais preditoras estão altamente relacionados entre si o que torna difícil de se identificar o impacto de uma variável independente na variável dependente.

O fator de inflação de variância é usado para medir colinearidade entre o preditor e as variáveis em um modelo. O preditor tendo VIF de 2 ou menos geralmente é considerado seguro e pode ser assumido que não é correlacionado com outra variável preditora. Quanto maior o VIF, maior é a correlação da variável preditora com relação a outras variáveis preditoras. No entanto, preditoras com alto VIF podem ter um alto p-value, então nós precisamos ver se a significância da variável preditora antes de removê-la do nosso modelo. Na tabela abaixo, vemos a verificação deste indicador:

Tabela 2. Valores VIF para as variáveis

|  |  |
| --- | --- |
| Variável | VIF (“Variance Inflation Factor”) |
| Tenure | 2.2820 |
| MonthlyCharges | 1.3671 |
| SeniorCitizen | 1.0754 |
| Partner | 1.0850 |
| InternetService.xFiber.optic | 1.5196 |
| InternetService.xNo | 1.5096 |
| OnlineSecurity | 1.0873 |
| OnlineBackup | 1.1507 |
| TechSupport | 1.1459 |
| StreamingTV | 1.2910 |
| Contract.xOne.year  Contract.xTwo.year | 1.2038  1.2128 |
| PaperlessBilling | 1.1114 |
| PaymentMethod.xElectronic.check | 1.1284 |
| tenure\_bin.x1.2.years | 1.0518 |
| tenure\_bin.x5.6.years | 2.0054 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Na tabela 2, acima, observemos que diversas variáveis não significativas foram removidas pelo stepwise, como DeviceBackup e DeviceProtection, o que nos resultou em novo modelo para o qual executamos as análises de eficácia e área da curva ROC (AUC - Area Under Curve).

A base foi dividida entre treino e teste. O treino ficou com 80% das observações, sendo reservados os 20% para verificação posterior e avaliação de overfitting. A seguir, foi feita a padronização das variáveis contínuas através do processo zscore, que consiste em subtrair a média do valor e dividir pelo desvio padrão, ou seja:

.

O próximo passo será utilizar transformar as variáveis categóricas em dummy para preparar para a aplicação a regressão logística.

Será executado o modelo glm em função de todas as variáveis para obter um primeiro resultado. No primeiro modelo, utilizando o comando glm(formula = Churn ~ ., family = “binomial”, data = telco), já verificamos que algumas variáveis não são significativas, como: gender, SeniorCitizen, Partner, Dependents, PhoneService, TotalCharges, PhoneService, MultipleLines cujo p-value não atinge os 5% de significância.

O modelo acima foi executado em função de todas as variáveis, obtendo AIC 4644 e também um LL (Loglik) de -2880.817 (df=29). Assim, para avaliar o efeito, aplicamos o procedimento stepwise que eliminou variáveis e devolveu o modelo otimizado, mais parcimonioso. Após o stepwise, observemos que neste caso o LL (loglik) melhorou para -2072.641 (df=17).

Sabendo que o modelo GLM devolveu os percentuais de probabilidade de ocorrer o evento Churn devemos definir agora qual percentual irá significar Churn ou não-Churn. Agora vamos avaliar usando dados de validação, supondo alguns cutoffs:

Tabela 3. Análise de sensibilidade, especificidade e acurácia do modelo glm.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 50% | 70% | 30% |
| Sensitividade | 0.5107 | 0.2353 | 0.7513 |
| Especificidade | 0.9003 | 0.9758 | 0.7783 |
| Acurácia | 0.7967 | 0.7790 | 0.7711 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Percebemos que um cutoff de 50% temos boa acurácia e especificidade, porém baixa sensitividade. No gráfico abaixo, podemos avaliar visualmente a evolução dos indicadores em função da variação do cutoff e verificamos que em torno de 30% seria o cruzamento das três linhas (sensitividade, especificidade e acurácia). No nosso caso, vamos focar na acurácia por representar indicador geral do modelo:

Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente

Figura 11. Gráfico de sensitividade, especificidade e acurácia para modelo.

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Devemos analisar a área debaixo da curva ROC e coeficiente de GINI, pois necessitamos de mais indicadores de qualidade para o nosso modelo. No modelo abaixo, ainda não adotaremos o cutoff de 0,32, mantendo a variável resposta com valores entre 0 e 1, e não como variável binária:

Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente

Figura 12 – Curva ROC do modelo glm.

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

A curva das características operacionais do receptor (Receiver operating characteristic — ROC) mostra a relação entre a taxa de verdadeiros positivos e a taxa de falsos positivos para diferentes limites.

**Árvores de Decisão (*Decision Tree*) - Algoritmo CART**

Serão avaliados também com o algoritmo descrito por Breiman et. Al (1984). Árvores de decisão são métodos supervisionados não paramétricos usados para classificação e regressão. O algoritmo CART é abreviação de “Classification and Regression Trees*”* e foi introduzido por Breiman (1984). Com ele é possível construir tanto classificação quanto regressões nas árvores. A árvore de classificação pelo CART é baseada na divisão binária dos atributos. É também baseado no algoritmo de Hunt e pode ser implementado de forma serial. Utiliza o índice de GINI como medida de divisão e seleção do atributo de divisão.

Este algoritmo é único com relação a outros algoritmos de Hung já que também pode ser usado para análises de regressão com ajuda das árvores de regressão (S. Anupama et al, 2011). A análise de regressão é utilizada para prever variáveis dependentes dados um conjunto de variáveis preditoras para um período.

Utiliza muitas variáveis únicas como critério de divisão como índice de GINI, etc., e outra multivariável para determinar o melhor ponto de quebra e os dados são guardados a cada nó para determinar o melhor ponto de corte. A combinação linear de critérios de quebra é utilizada na regressão linear. SALFORD SYSTEMS implementou uma versão do CART, chamado CART usando o código original de Breimen (1984). O CART reforçou as características principais e tratou as deficiências, dando origem a um classificador de árvores com alta acurácia na predição. (Priyam, A., 2013)

**“Random Forest”**

Tendo como base as árvores de decisão, o algoritmo “Random Forest” também descrito por Breiman, L (2002), faz parte dos chamados métodos “ensamble”, que são combinações de diferentes modelos para um resultado unificado. Como nome diz, as Árvores Aleatórias serão criadas com base nos dados analisados para que sejam consolidados e seu resultado seja otimizado. Nas *“*Random Forest*”*, modelos de regressão representarão as médias dos resultados, e os modelos classificatórios trarão o resultado que mais se repete dentre as árvores aleatórias.

Tendo como base o modelo de Generalized Linear Model (GLM), que analisamos até agora, iremos comparar a capacidade classificatória com dois outros modelos de machine learning. Os resultados obtidos seguem abaixo:

Tabela 4. Comparativo de indicadores dos modelos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| medida | glm | Random forest | Decision Tree |
| Acurácia | 77,98% | 79,88% | 79,67% |
| MAPE | 0,1901 | 0,1332 | 0,1233 |
| Curva ROC (AUC) | 76% | 70% | 67% |
| GINI | 0,6900 | 0,4000 | 0,3390 |
| RMSE | 0,4754 | 0,4485 | 0,4516 |

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

**Gráfico, Gráfico de linhas

Descrição gerada automaticamente**

Figura 12 – Gráfico comparativo de área sob curva ROC.

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Com base no gráfico acima, observamos que a área debaixo da curva ROC é maior no modelo GLM, em comparação com modelos derivados da árvore de decisão. Cabe observar que o cutoff adotado no modelo GLM foi de 0,32, ou seja, clientes cuja probabilidade de churn fosse maior ou igual a 32% foram classificados como positivos, e abaixo disso foi considerado negativo.

Quanto à acurácia, se isolarmos como fator de ranking, o modelo Random forest é o melhor, uma vez que possui acurácia de 79,88% comparado com 77,98% do modelo glm e 79,67% do modelo Decision Tree. Se entendermos apenas acurácia como fator de decisão, o glm não performa tão bem quanto estes últimos dois algoritmos. Porém, sabe-se que estes dois modelos não possuem parâmetro de cutoff, perdendo assim a capacidade de convergir no modelo final as curvas de sensitividade e especificidade. Caso adotássemos cutoff de 50% (em vez de 32%), a 79,67%, bem próximo ao Random Forest.

Quanto às medidas de impureza, como coeficiente de GINI, o Random Forest obteve 0,4485 como menor e melhor índice para os modelos avaliados.

**Conclusões**

Com a análise dos dados através das modelagens realizadas, observamos que é possível construir modelos matemáticos e utilizar algoritmos de “machine learning” para previsão de “churn” de Clientes. Como pudemos observar na divisão das amostras entre 80% para treino e 20% para teste, os modelos resultantes mantiveram acurácia consistente em torno de 79%.

Convém notar que a análise realizada ficou restrita às variáveis fornecidas apenas por uma base de dados, a empresa Telco, o que limita o modelo à aplicação geral. No entanto, é válido observar que o fenômeno estudado responde bem a inferências matemáticas e deve ter seu estudo ampliado para ajudar mais empresas a compreenderem seus clientes e atuarem na sua retenção.

**Agradecimento**

Agradeço à minha família e ao meu orientador pela paciência e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

**Referências**

1. Tjaden, B.; Cohen, J. A survey of computational methods used in microarray data interpretation. In: Applied Mycology and Biotechnology. [S.l.]: Elsevier, 2006. v. 6, p. 161–178.
2. Chen, Y.; Wong, M. L. An ant colony optimization approach for stacking ensemble. In: IEEE. Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2010 Second World Congress on. [S.l.], 2010. p. 146–151.
3. Gil, A. C. (2002) Como elaborar projetos de pesquisa. 4a. ed. São Paulo: Atlas S/A.
4. Fávero, L. P., & Belfiore, P. (2017). Manual de Análise de Dados Estatística Modelagem Multivariada Com Excel, SPSS E Stata. In Elsevier.
5. Bryk A. S, & Raudenbush, S. W. (1992). Hierarchical linear models: applications and data analysis methods. 2. ed. Thousand Oaks: Sage Publications.
6. Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2013). Using multivariate statistics. 6. ed. Boston: Pearson.
7. Shapiro, S. S. & Francia, R. S. (1972). Approximate analysis of variance test for normality. Am. Statist. Assoc. 67, 215-25.
8. Breusch, T., & Pagan, A. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics, The Review of Economic Studies, 47(1):239-254
9. Dio, R. A. T. D. (1979). Prefácio à edição brasileira. In: CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa. São Paulo: EPU.
10. Bounsaythip, C. & Rinta-Runsala, E. (2001) Overview of Data Mining for Customer Behavior Modeling. Louhi. Research Report TTE1-2001-18.
11. PriceWaterHouseCoopers. (1999) *The CRM Handbook: from Group to multiindividual*.
12. Berson, A. & Thearling, K. (2001), "Building Data mining Applications for CRM". McGraw-Hill, 2000.
13. McGowan, Donal et al. (2011) Churn prediction in mobile telecommunications. In: Proceedings of the 22nd Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science.
14. E. Stripling, S. vanden Broucke, K. Antonio, B. Baesens and M. Snoeck, 2015. "Profit maximizing logistic regression modeling for customer churn prediction," 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA), pp. 1-10, doi: 10.1109/DSAA.2015.7344874.
15. A. Ahmed and D. M. Linen, 2017, "A review and analysis of churn prediction methods for customer retention in telecom industries," 2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), pp. 1-7, doi: 10.1109/ICACCS.2017.8014605.
16. Seo, DongBack; Ranganathan, C.; Babad, Yair. Two-level model of customer retention in the US mobile telecommunications service market. Telecommunications policy, v. 32, n. 3-4, p. 182-196, 2008.
17. Dash, Manoj; Singh, Kunwar Ravendra. Churn Prediction in Telecom Industry Using R.
18. De Myttenaere, Arnaud et al. Mean absolute percentage error for regression models. Neurocomputing, v. 192, p. 38-48, 2016.
19. Wallach, Daniel; Goffinet, Bruno. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecological modelling, v. 44, n. 3-4, p. 299-306, 1989.
20. Woolf, Barnet. The log likelihood ratio test (the G‐test). Annals of human genetics, v. 21, n. 4, p. 397-409, 1957.
21. Penny, William D. Comparing dynamic causal models using AIC, BIC and free energy. Neuroimage, v. 59, n. 1, p. 319-330, 2012.
22. Au, W; Chan, C. C; Yao, X. A novel evolutionary data mining algorithm with applications to churn prediction. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, v. 7, n. 6, p. 532-545, 2003.
23. Kurtz, D. L; Clow, K. E. Services marketing New York: John Wiley & Sons, 1998.
24. Fawcett, Tom. ROC graphs with instance-varying costs. Pattern Recognition Letters, v. 27, n. 8, p. 882-891, 2006.
25. I. Ullah, B. Raza, A. K. Malik, M. Imran, S. U. Islam and S. W. Kim, "A Churn Prediction Model Using Random Forest: Analysis of Machine Learning Techniques for Churn Prediction and Factor Identification in Telecom Sector," in IEEE Access, vol. 7, pp. 60134-60149, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2914999.
26. Lu, Ning et al. A customer churn prediction model in telecom industry using boosting. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 10, n. 2, p. 1659-1665, 2012.
27. Santos, C. A. S. T. et al. Modelagem multinível. Sitientibus, Feira de Santana, v. 22, p. 89-98, 2000.
28. Montgomery, D. C.; Peck, E. A.; Vining, G. G. Introduction to linear regression analysis. John, Wiley and Sons, Inc., New York, 612p, 2006.
29. Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (2017). Classification and regression trees. Routledge.
30. Breiman, L. (2001), Random Forests, Machine Learning 45(1), 5-32.
31. Breiman, L (2002), “Manual on Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1
32. Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A., and Stone, C. J. (1984) *Classification and Regression Trees.* Wadsworth.
33. S.Anupama Kumar and Dr. Vijayalakshmi M.N. (2011) “Efficiency of decision trees in predicting student‟s academic performance”, D.C. Wyld, et al. (Eds): CCSEA 2011, CS & IT 02, pp. 335-343, 2011.
34. Priyam, A., Abhijeeta, G. R., Rathee, A., & Srivastava, S. (2013). Comparative analysis of decision tree classification algorithms. *International Journal of current engineering and technology*, *3*(2), 334-337.