

AULAS 20 E 21

Análise de regressão múltipla: problemas adicionais

Ernesto F. L. Amaral

**08 e 13 de novembro de 2012
Avaliação de Políticas Públicas (DCP 046)**

Fonte:

**Wooldridge, Jeffrey M. “Introdução à econometria: uma abordagem moderna”. São Paulo:
Cengage Learning, 2008. pp.174-206 (capítulo 6).**

EFEITOS DA DIMENSÃO DOS DADOS NAS ESTATÍSTICAS

- Mudanças das unidades de medida das variáveis não afeta o R^2 .
- A intenção agora é de examinar o efeito do redimensionamento das variáveis dependente ou independente sobre:
 - Erros-padrão.
 - Estatísticas t .
 - Estatísticas F .
 - Intervalos de confiança.
- Escolhendo as unidades de medida, a aparência da equação estimada pode melhorar, sem alterar a essência do modelo.
- É geralmente realizada com valores monetários, especialmente quando os montantes são muito grandes.

EXEMPLO

- *pesônas*: peso dos recém-nascidos, em onças.
- *cigs*: número médio de cigarros que a mãe fumou por dia durante a gravidez.
- *rendfam*: renda anual familiar, em milhares de dólares.
- Equação 1:

$$\widehat{pesonas} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 cigs + \hat{\beta}_2 rendfam$$

EFEITOS DA DIMENSÃO DOS DADOS

Variável Dependente	(1) pesonas	(2) pesonaslb = pesonas/16	(3) pesonas
Variáveis Independentes			
<i>cigs</i>	-0,4634 (0,0916)	-0,0289 (0,0057)	-----
<i>maços = cigs/20</i>	-----	-----	-9,268 (1,832)
<i>rendfam</i>	0,0927 (0,0292)	0,0058 (0,0018)	0,0927 (0,0292)
<i>intercepto</i>	116,974 (1,049)	7,3109 (0,0656)	116,974 (1,049)
Observações	1.388	1.388	1.388
R-quadrado	0,0298	0,0298	0,0298
SQR	557.485,51	2.177,6778	557.485,51
EPR	20,063	1,2539	20,063

MUDANÇA NA DEPENDENTE

– Não importa como a variável dependente seja medida, os efeitos da constante e coeficientes são transformados nas mesmas unidades.

– Equação 2:

$$\widehat{pessoas}/16 = \hat{\beta}_0/16 + (\hat{\beta}_1/16)cigs + (\hat{\beta}_2/16)rendfam$$

E A SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA?

- A alteração da variável dependente de onças para libras não tem efeito sobre o quanto são estatisticamente importantes as variáveis independentes.
- Os erros-padrão na coluna (2) são 16 vezes menores que os da coluna (1).
- As estatísticas t na coluna (2) são idênticas às da coluna (1).
- Os pontos extremos dos intervalos de confiança na coluna (2) são exatamente os pontos extremos na coluna (1) divididos por 16, já que ICs mudam pelos mesmos fatores dos erros-padrão.
- IC de 95% é beta estimado +/- 1,96 erro padrão estimado.

E O GRAU DE AJUSTE? E O SQR? E O EPR?

- Os R^2 das duas regressões são idênticos, como esperado.
- A soma dos resíduos quadrados (SQR) e o erro-padrão da regressão (EPR) possuem diferentes equações.
- Quando *pesonaslb* é a variável dependente, o resíduo da observação *i* na equação (2) é: $\hat{u}_i/16$
- O resíduo quadrado em (2) é: $(\hat{u}_i/16)^2 = \hat{u}_i^2/256$
- Por isso, **SQR(2) = SQR(1) / 256.**
- Como: $EPR = \hat{\sigma} = \sqrt{SQR/(n - k - 1)} = \sqrt{SQR/1.385}$
- Por isso, **EPR(2) = EPR(1) / 16.**

REDUZIMOS O ERRO?

- O erro na equação com $pesonas/b$ como a variável dependente tem um desvio-padrão 16 vezes menor do que o desvio-padrão do erro original.
- Isso não significa reduzir o erro por mudar a medida da variável dependente.
- O EPR menor simplesmente reflete uma diferença nas unidades de medida.

MUDANÇA NA INDEPENDENTE

- *maços*: quantidade de maços de cigarros fumados por dia:

$$maços = cigs / 20$$

$$\begin{aligned} \widehat{pessoas} &= \hat{\beta}_0 + (20\hat{\beta}_1) \left(\frac{cigs}{20} \right) + \hat{\beta}_2 rendfam \\ &= \hat{\beta}_0 + (20\hat{\beta}_1) maços + \hat{\beta}_2 rendfam \end{aligned}$$

- O intercepto e o coeficiente de inclinação de *rendfam* não se alteraram.
- O coeficiente de *maços* é 20 vezes o de *cigs*.
- O erro-padrão de *maços* é 20 vezes o de *cigs*, o que significa que a estatística *t* é a mesma.
- Se *maços* e *cigs* fossem inseridos conjuntamente, teríamos multicolinearidade perfeita.

COEFICIENTES BETA

- Algumas vezes, uma variável-chave é medida em uma dimensão de difícil interpretação.
- Primeiro exemplo: ao invés de perguntar o efeito sobre o salário, proveniente do aumento em dez pontos em um teste, talvez faça mais sentido perguntar sobre efeito proveniente do aumento de um desvio-padrão.
- Segundo exemplo: é o caso de variáveis criadas com análise fatorial, já que não sabemos exatamente o que a unidade de medida significa.
- Como o desvio-padrão da variável “fatorial” é geralmente próximo de uma unidade, verificamos o efeito na unidade da variável dependente (beta), após a alteração de um desvio-padrão na variável independente.

COEFICIENTES PADRONIZADOS

- Algumas vezes é útil obter resultados de regressão quando todas as variáveis tenham sido padronizadas.
- Uma variável é padronizada pela subtração de sua média e dividindo o resultado por seu desvio-padrão.
- Ou seja, computamos a transformação z de cada variável e depois fazemos a regressão usando esses valores z.

- Portanto, partimos de:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \hat{\beta}_2 x_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik} + \hat{u}$$

- Novo beta = beta original * (dp de x / dp de y)
- Intercepto (beta zero) não existe mais:

$$z_y = \hat{b}_1 z_1 + \hat{b}_2 z_2 + \dots + \hat{b}_k z_k + erro$$

- Para $j = 1, \dots, k$, os coeficientes são: $\hat{b}_j = (\hat{\sigma}_j / \hat{\sigma}_y) \hat{\beta}_j$

INTERPRETANDO COEFICIENTES PADRONIZADOS

- Os coeficientes padronizados são também chamados de coeficientes beta.
- Se x_1 aumentar em um desvio-padrão, então o y predito será alterado em b_1 desvios-padrão.
- Os efeitos não estão sendo medidos em termos das unidades originais de y ou de x_j , mas em unidades de desvios-padrão.
- A dimensão das variáveis independentes passa a ser irrelevante, colocando-as em igualdade.
- Quando cada x_j é padronizado, a comparação das magnitudes dos coeficientes (significância econômica) é mais convincente. Ou seja, a variável com maior coeficiente é a “mais importante”.
- O Stata apresenta os beta padronizados com opção “, beta”.

USO DE FORMAS FUNCIONAIS LOGARÍTMICAS

- O uso de logaritmos das variáveis dependentes ou independentes é o artifício mais comum em econometria para permitir relações não lineares entre a variável explicada e as variáveis explicativas.

$$\widehat{\log}(y) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \log(x_1) + \hat{\beta}_2 x_2$$

- β_1 é a elasticidade de y , em relação a x_1 :
 - Quando x_1 aumenta em 1%, y aumenta em $\beta_1\%$, mantendo x_2 fixo.
- $100*\beta_2$ é a semi-elasticidade de y , em relação a x_2 :
 - Quando x_2 aumenta em 1, y aumenta em $100*[\exp(\beta_2)-1]\%$, mantendo x_1 fixo.
 - No entanto, podemos utilizar $(100*\beta_2)\%$, quando temos pequenas mudanças percentuais.

PECULIARIDADES DO USO DE LOGARITMOS

- Com log, ignoramos unidades de medida das variáveis, pois coeficientes de inclinação não variam pelas unidades.
- Quando $y > 0$, os modelos que usam $\log(y)$ satisfazem MQO mais do que os modelos que usam o nível original de y .
- Log é útil para variáveis estritamente positivas com grandes valores e distribuição concentrada, tais como: renda, vendas de empresas, população, matrículas, empregados, votação.
- Log estreita amplitude dos valores, tornando estimativas menos sensíveis a observações extremas (*outliers*).
- Variáveis medidas em anos aparecem em forma original.
- Taxas geralmente aparecem em forma original.
- Log não é usado se variável tem valor zero ou negativo.
- Não é válido comparar R^2 entre modelos com y e $\log(y)$.

EXEMPLO DE NÃO-LINEARIDADE

- Para cada ano adicional de educação, há um aumento fixo no salário. Esse é o aumento tanto para o primeiro ano de educação quanto para anos mais avançados:

$$\textit{salário} = \beta_0 + \beta_1 \textit{educ} + u$$

- Suponha que o aumento percentual no salário é o mesmo, dado um ano a mais de educação formal. Um modelo que gera um efeito percentual constante é dado por:

$$\log(\textit{salário}) = \beta_0 + \beta_1 \textit{educ} + u$$

- Se $\Delta u = 0$, então:

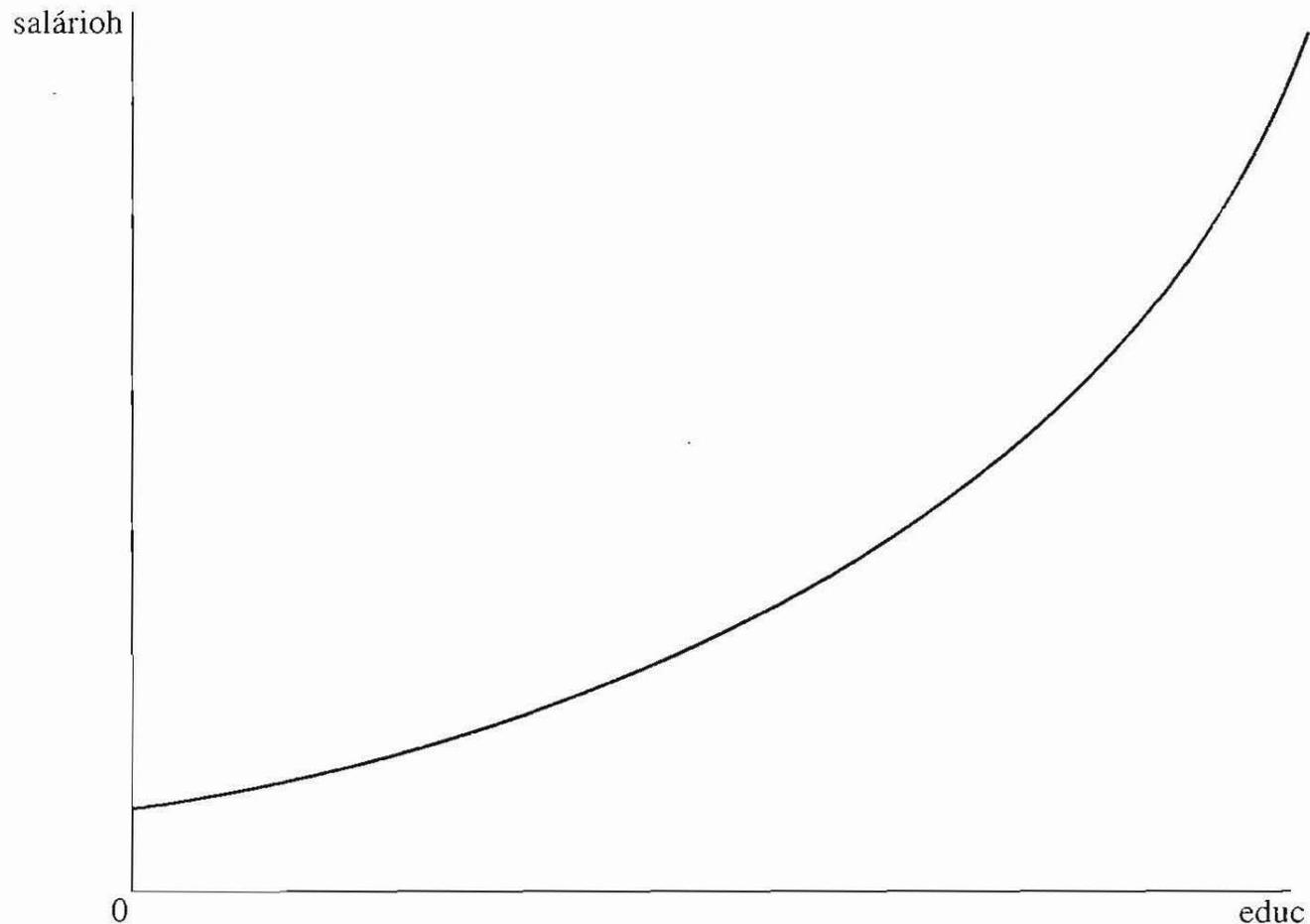
$$\% \Delta \textit{salário} = (100 * \beta_1) \Delta \textit{educ}$$

- Para cada ano adicional de educação, há um aumento de ?% sobre o salário.

- Como a variação percentual no salário é a mesma para cada ano adicional de educação, a variação no salário aumenta quando a educação formal aumenta.

Figura 2.6

$$\text{saláριο} = \exp(\beta_0 + \beta_1 \text{educ}), \text{ com } \beta_1 > 0.$$



INTERPRETAÇÃO DOS COEFICIENTES

- Aumento de uma unidade em x aumenta y em β_1 unidades:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + u$$

- Aumento de 1% em x aumenta y em $(\beta_1/100)$ unidades:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \log(x) + u$$

- Aumento de uma unidade em x aumenta y em $100 * [\exp(\beta_1) - 1]\%$ ou, aproximadamente, em $(100 * \beta_1)\%$:

$$\log(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$$

- Aumento de 1% em x aumenta y em $\beta_1\%$:

$$\log(y) = \beta_0 + \beta_1 \log(x) + u$$

- Este último é o modelo de elasticidade constante.
- Elasticidade é a razão entre o percentual de mudança em uma variável e o percentual de mudança em outra variável.

FORMAS FUNCIONAIS ENVOLVENDO LOGARITMOS

Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Interpretação de β_1
nível-nível	y	x	$\Delta y = \beta_1 \Delta x$
nível-log	y	$\log(x)$	$\Delta y = (\beta_1 / 100) \% \Delta x$
log-nível	$\log(y)$	x	$\% \Delta y = (100 \beta_1) \Delta x$
log-log	$\log(y)$	$\log(x)$	$\% \Delta y = \beta_1 \% \Delta x$

MODELOS COM FUNÇÕES QUADRÁTICAS

- Funções quadráticas são usadas para capturar efeitos marginais crescentes ou decrescentes.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + u$$

- Sempre existe um valor positivo de x , no qual o efeito de x sobre y é zero, chamado de ponto crítico: $x^* = |\beta_1 / (2\beta_2)|$.
- Interpretações: (1) após ponto crítico, a relação se inverte; (2) após/antes ponto crítico, há poucos casos; (3) falta incluir variáveis; ou (4) falta transformar variáveis.
- Quando o coeficiente de x é positivo e o coeficiente de x^2 é negativo, a função quadrática tem um formato parabólico (\cap):
 - Antes desse ponto, x tem um efeito positivo sobre y .
 - Após esse ponto, x tem um efeito negativo sobre y .
- Se β_1 é negativo e β_2 é positivo, função tem formato U.

MODELOS COM TERMOS DE INTERAÇÃO

- O efeito de uma variável independente, sobre a variável dependente, pode depender de outra variável explicativa:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + u$$

- O efeito parcial de x_2 sobre y é: $\Delta y / \Delta x_2 = \beta_2 + \beta_3 x_1$.
- β_2 é o efeito parcial de x_2 sobre y , quando $x_1 = 0$, o que pode não ser de interesse prático.
- Podemos então reparametrizar o modelo, tal como:

$$y = \alpha_0 + \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \beta_3 (x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2) + u, \text{ sendo:}$$

μ_1 e μ_2 médias populacionais de x_1 e x_2 .

- δ_2 é o efeito parcial de x_2 sobre y , quando $x_1 = \mu_1$:

$$\delta_2 = \beta_2 + \beta_3 \mu_1$$

- É complicado interpretar modelos com termos de interação.

GRAU DE AJUSTE E SELEÇÃO DE REGRESSORES

- Seleção de variáveis explicativas com base no tamanho do R^2 pode levar a modelos absurdos.
- Nada nas hipóteses do modelo linear clássico exige que o R^2 esteja acima de qualquer valor em particular.
- O R^2 é simplesmente uma estimativa do quanto da variação em y é explicado por x_1, x_2, \dots, x_k na população.
- Modelos com R^2 pequenos significam que não incluímos fatores importantes, mas não necessariamente significam que fatores em u estão correlacionados com os x 's.
- O tamanho de R^2 não tem influência sobre a média dos resíduos ser igual a zero.
- R^2 pequeno sugere que variância do erro é grande em relação à variância de y , mas isso pode ser compensado por amostra grande.

R² AJUSTADO

- Sendo σ_y^2 a variância populacional de y e σ_u^2 a variância populacional do erro, R^2 da população é a proporção da variação em y na população, explicada pelas independentes:

$$R^2 = 1 - \sigma_u^2 / \sigma_y^2$$

- R^2 usual = $SQE/SQT = 1 - SQR/SQT = 1 - (SQR/n) / (SQT/n)$
- Podemos substituir o SQR/n e SQT/n , por termos não-viesados de σ_u^2 e σ_y^2 , e chegamos ao R^2 ajustado:

$$\begin{aligned} \bar{R}^2 &= 1 - [SQR/(n-k-1)] / [SQT/(n-1)] = 1 - \hat{\sigma}^2 / [SQT/(n-1)] \\ &= 1 - (1 - R^2)(n - 1)/(n - k - 1) \end{aligned}$$

- R^2 ajustado não corrige viés de R^2 na estimativa do R^2 da população, mas penaliza inclusão de independentes.
- R^2 ajustado negativo indica adaptação ruim do modelo, relativo ao número de graus de liberdade.

\bar{R}^2 NA ESCOLHA DE MODELOS NÃO-ANINHADOS

- O R^2 ajustado auxilia na escolha de modelo sem variáveis independentes redundantes (entre modelos não-aninhados).
- A estatística F (*test*) permite testar somente modelos aninhados.
- No exemplo do World Values Survey, podemos testar se modelo com informação se religião é muito importante (religiao) é melhor do que modelo com crença no céu (ceu):
$$\text{tradrat5} = \beta_0 + \beta_1 \text{homem} + \beta_2 \text{religiao} + u$$
$$\text{tradrat5} = \beta_0 + \beta_1 \text{homem} + \beta_2 \text{ceu} + u$$
- Neste caso, não queremos incluir as duas variáveis em conjunto, pois teoricamente medem a mesma dimensão.
- Estes são modelos não-aninhados, exigindo comparação do R^2 ajustado.

\bar{R}^2 E MODELOS COM DIFERENTES FORMAS FUNCIONAIS

- Comparação dos R^2 ajustados pode ser feita para optar entre modelos com formas funcionais diferentes das variáveis independentes:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \log(x) + u$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + u$$

- Não podemos usar nem o R^2 nem o R^2 ajustado para escolher entre modelos não-aninhados com diferentes formas funcionais da variável dependente.
- Os R^2 medem a proporção explicada do total da variação de qualquer variável dependente:
 - Portanto, diferentes funções da variável dependente terão diferentes montantes de variação a serem explicados.

CONTROLE DE MUITOS FATORES NA REGRESSÃO

- Estamos preocupados com omissão de fatores importantes que possam estar correlacionados com as variáveis independentes.
- Se enfatizarmos o R^2 , tenderemos a controlar fatores em um modelo que não deveriam ser controlados.
- Ao estudar o efeito da qualidade do ensino sobre a renda, talvez não faça sentido controlar os anos de escolaridade, pois subestimar o retorno da qualidade. Podemos estimar a equação com e sem anos de estudo.
- A questão de decidir se devemos ou não controlar certos fatores nem sempre é bem definida.
- Se nos concentrarmos na interpretação *ceteris paribus* da regressão, não incluiremos fatores no modelo, mesmo que estejam correlacionadas com a dependente.

ADIÇÃO DE FATORES: REDUZIR VARIÂNCIA DO ERRO

- A adição de uma nova variável independente pode aumentar o problema da multicolinearidade.
- Porém, ao adicionar uma variável, estamos reduzindo a variância do erro.
- Devemos incluir variáveis independentes que afetem y e que sejam não-correlacionadas com todas variáveis independentes, pois:
 - Não induzirá multicolinearidade.
 - Reduzirá variância do erro.
 - Diminuirá erros-padrão dos coeficientes beta, gerando estimativas mais precisas (estimador com menor variância do erro amostral).

VALORES ESTIMADOS E RESÍDUOS

- Encontrados o intercepto e a inclinação, teremos um valor estimado para y para cada observação (x) na amostra:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$$

- O resíduo é a diferença entre o valor verdadeiro de y_i e seu valor estimado:

$$\hat{u}_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i$$

ANÁLISE DE RESÍDUOS

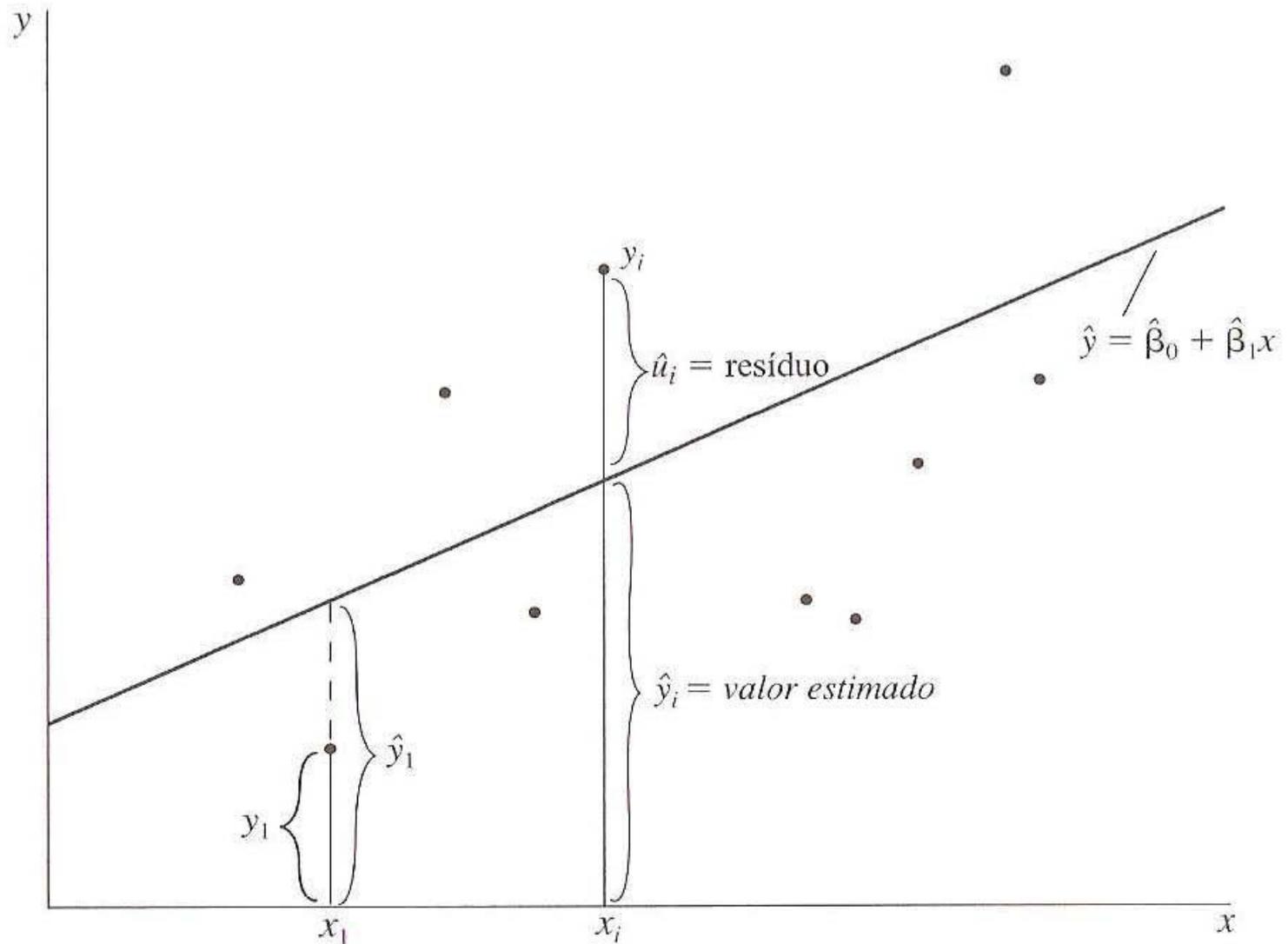
- É importante analisar os resíduos das observações individuais e examinar se valor efetivo da variável dependente está acima ou abaixo do valor previsto:

$$\hat{u}_i = y_i - \hat{y}_i$$

- Resíduo mais negativo indica valor observado mais baixo do que o previsto na regressão e vice-versa.

Figura 2.4

Valores estimados e resíduos.



MINIMIZANDO A SOMA DOS RESÍDUOS QUADRADOS

- Suponha que escolhemos o intercepto e a inclinação estimados com o propósito de tornar a soma dos resíduos quadrados:

$$\sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i)^2$$

- O nome “mínimos quadrados ordinários” é utilizado porque as estimativas do intercepto e da inclinação minimizam a soma dos resíduos quadrados.
- Não é utilizada a minimização dos valores absolutos dos resíduos, porque a teoria estatística para isto seria muito complicada.

HOMOSCEDASTICIDADE DOS RESÍDUOS

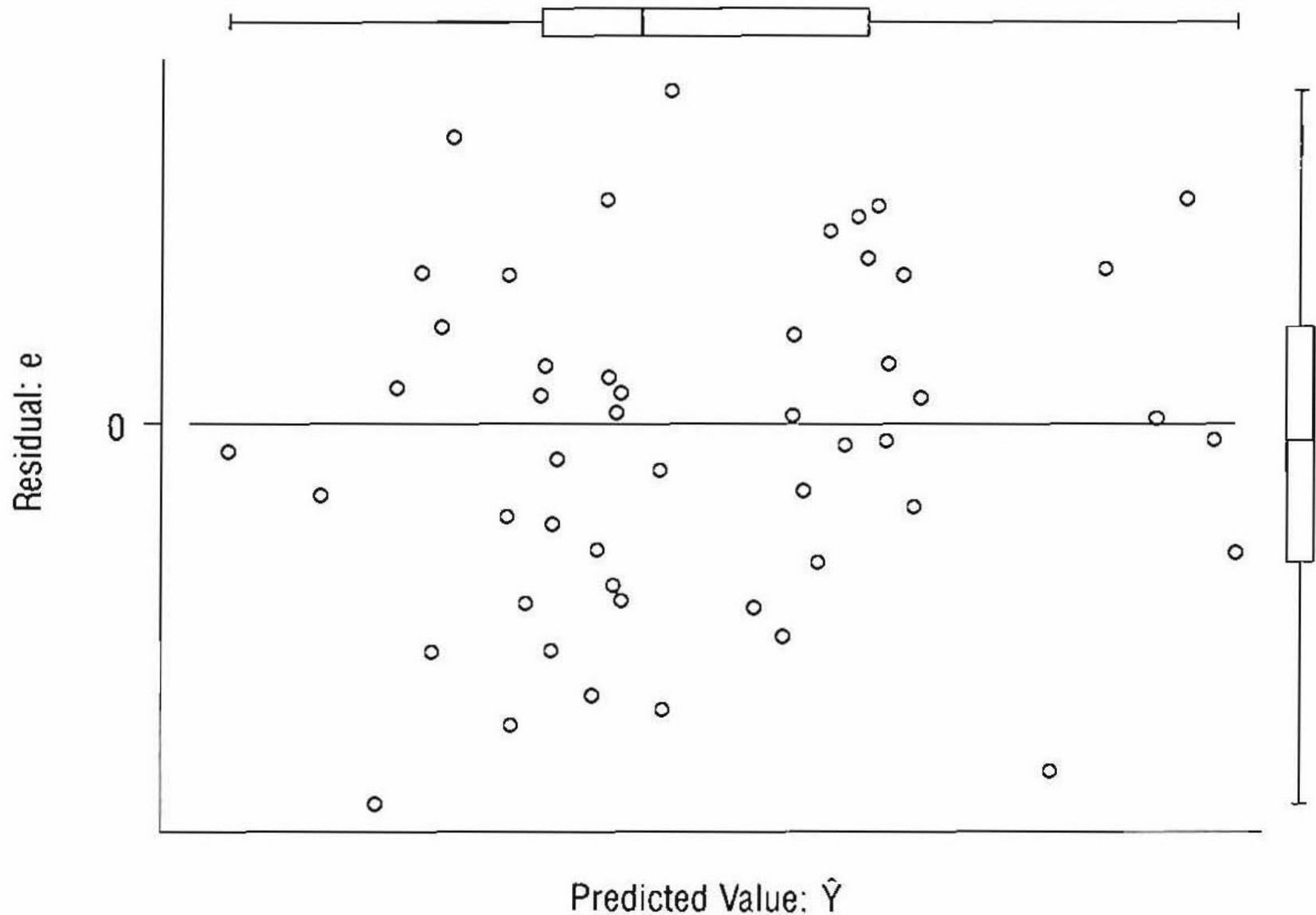
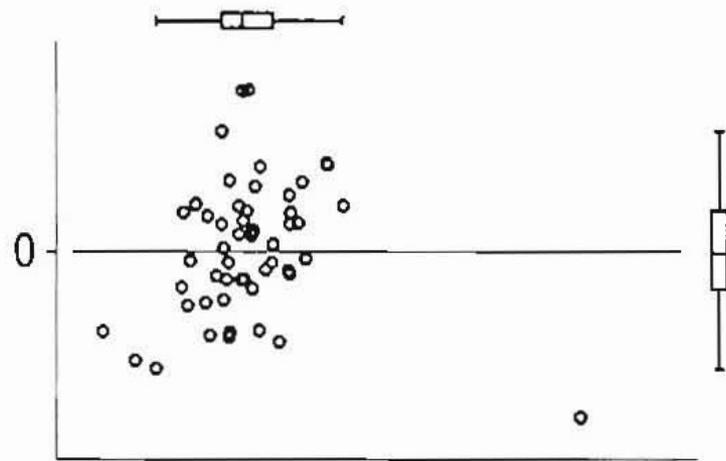
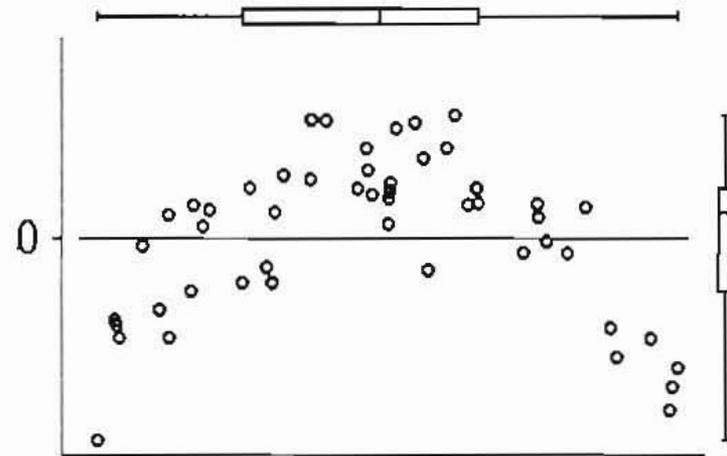


Figure 2.10 “All clear” e -versus- \hat{Y} plot (artificial data).

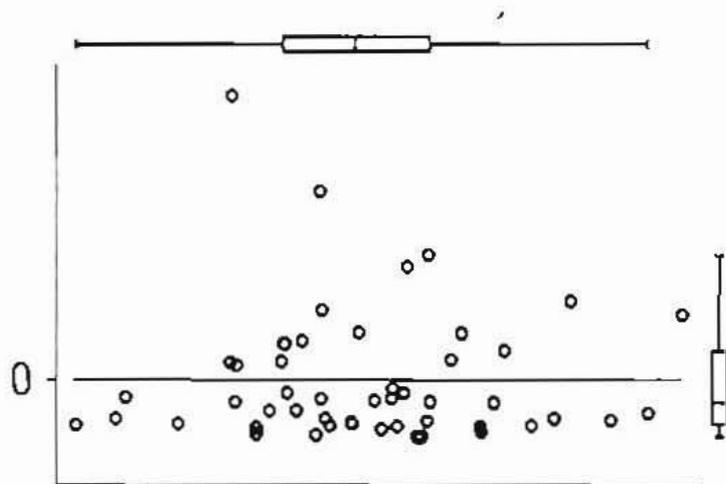
HETOROCEDASTICIDADE DOS RESÍDUOS



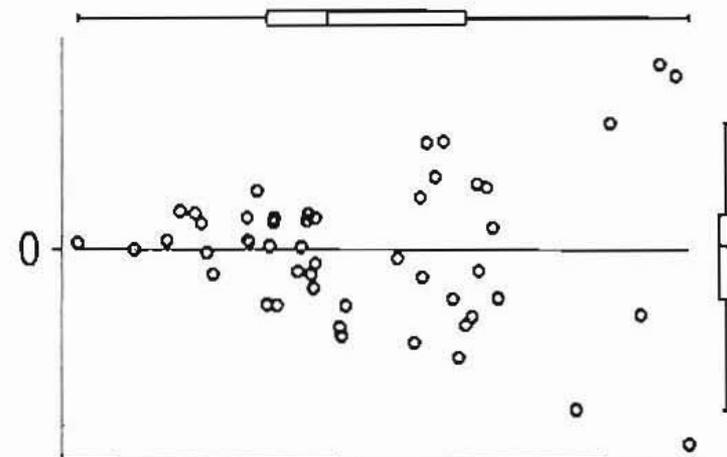
Influential Case



Curvilinear Relation



Nonnormal Residual Distribution



Heteroscedasticity

Figure 2.11 Examples of trouble seen in e -versus- \hat{Y} plots (artificial data).

LEMBRE-SE

- “É muito mais importante tornar-se proficiente em interpretar coeficientes do que eficiente no cálculo de fórmulas.”
(Wooldridge, 2008: 45)

DIFERENTES PESOS

Indivíduo	Número de observações coletadas na amostra	Peso para expandir para o tamanho da população (N)	Peso para manter o tamanho da amostra (n)
João	1	4	0,8
Maria	1	6	1,2
Total	2	10	2

EXEMPLO:

Peso amostral do João =

Peso de frequência do João * (Peso amostral total / Peso de frequência total)

PESO DE FREQUÊNCIA NO STATA

– FWEIGHT:

- Expande os resultados da amostra para o tamanho populacional.
- Utilizado em tabelas para gerar frequências.
- O uso desse peso é importante na amostra do Censo Demográfico e na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para expandir a amostra para o tamanho da população do país, por exemplo.
- Somente pode ser usado em tabelas de frequência quando o peso é uma variável discreta (não decimal).

```
tab x [fweight = peso]
```

PESO AMOSTRAL PARA PROGRAMADORES NO STATA

– IWEIGHT:

- Não tem uma explicação estatística formal.
- Esse peso é utilizado por programadores que precisam implementar técnicas analíticas próprias.
- Pode ser utilizado em tabelas de frequência, mesmo que o peso seja decimal.

```
tab x [iweight = peso]
```

PESO AMOSTRAL ANALÍTICO NO STATA

– AWEIGHT:

- Inversamente proporcional à variância da observação.
- Número de observações na regressão é escalonado para permanecer o mesmo que o número no banco.
- Utilizado para estimar uma regressão linear quando os dados são médias observadas, tais como:

group	x	y	n
1	3.5	26.0	2
2	5.0	20.0	3

- Ao invés de:

group	x	y
1	3	22
1	4	30
2	8	25
2	2	19
2	5	16

UM POUCO MAIS SOBRE O AWEIGHT

- De uma forma geral, não é correto utilizar o **AWEIGHT** como um peso amostral, porque as fórmulas utilizadas por esse comando assumem que pesos maiores se referem a observações medidas de forma mais acurada.
- Uma observação em uma amostra não é medida de forma mais cuidadosa que nenhuma outra observação, já que todas fazem parte do mesmo plano amostral.
- Usar o **AWEIGHT** para especificar pesos amostrais fará com que o Stata estime valores incorretos de variância e de erros padrões para os coeficientes, assim como valores incorretos de "p" para os testes de hipótese.

```
regress y x1 x2 [aweight = peso]
```

PESO AMOSTRAL NAS REGRESSÕES DO STATA

– PWEIGHT:

- Ideal para ser usado nas regressões do Stata.
- Usa o peso amostral como o número de observações na população que cada observação representa.
- São estimadas proporções, médias e parâmetros da regressão corretamente.
- Há o uso de uma técnica de estimação robusta da variância que automaticamente ajusta para as características do plano amostral, de tal forma que variâncias, erros padrões e intervalos de confiança são calculados de forma mais precisa.
- É o inverso da probabilidade da observação ser incluída no banco, devido ao desenho amostral.

```
regress y x1 x2 [pweight = peso]
```

OUTRAS OBSERVAÇÕES SOBRE PESOS NO STATA

PESOS EM TABELAS DE FREQUÊNCIA		
Tipo do peso	Expandir para o tamanho da população (N)	Manter o tamanho da amostra (n)
Discreto	fweight	
Decimal	lweight	aweight

PESOS EM MODELOS DE REGRESSÃO devem manter o tamanho da amostra (n)	
Erro padrão robusto	R² ajustado, SQT, SQE, SQR
pweight	aweight
reg y x, robust	outreg2