

Á

Á

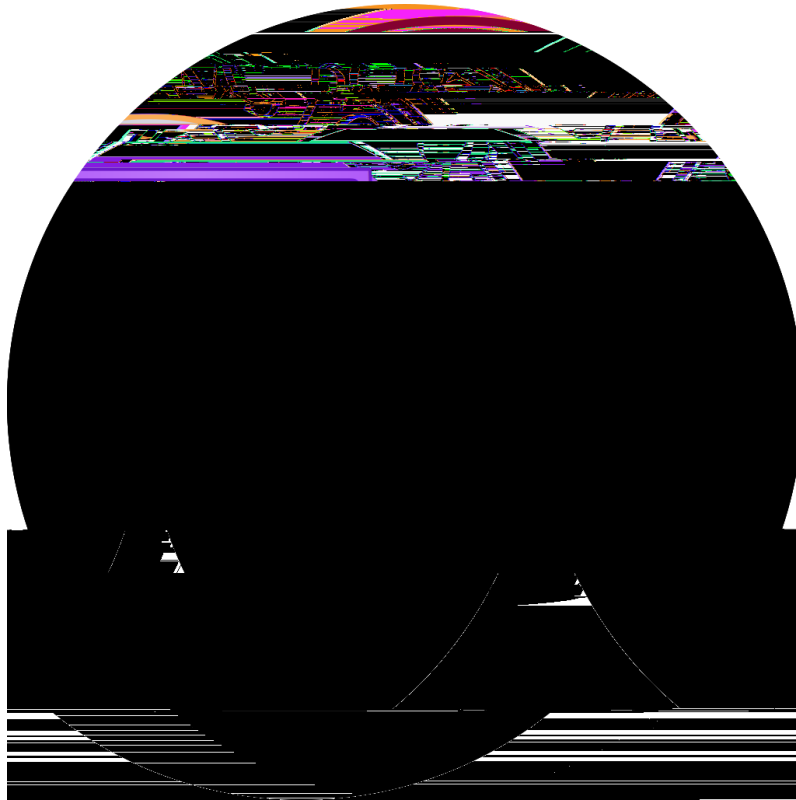
Á

Á

ŒŒ æ&@} ^Š^æ} ā \* ÁE ] | [ æ&@ [ ÁE d { æ^âÁ/æâ} \* Á

Boston College Computer Science Senior Thesis

Á



Á

Á

Á

Þā \* Š~ Á

Œāçā [ | Œ^i \* ā Œçæ^: Á

T æ Á ŒçĤ Á

Á

Á

Á

Á

Á

Á

OE • d a&cÁ

Á

V@Á a &ñÁ a\^cÁ a& { ]|^cÁ a/á^} a &ñÁ



FEŹ d[ a~ & cā } Á

Á

CE Á - Á GEFGZÁ^][! d[ { Á [

GEÄE d { æ^åÁ/æå \* Á

Á

GEÄUç^!çã, Äå åÁ^!{ • Á

Á

V@Äüç & Ä æ\^å Äæ æ\^ç |æ^Ä @!^Ä @æ^Ä Ä~ à|æÄ { ] æ å • Äæ^Ä/æå^åÄ  
& { ] æ ^Ä^Ä { ^•Ä~ à|æÄ @} Äæ æ^•Ä ÄÄ~ÄÜ~ à|æÄ-^!å \* Ä!Ä { { [ ] ^Ä } [ , } Äe ÄÜUÄ  
, @Ä^ äå • Ä@æç ç^ç!•Ä [!|ä, ä^Äæ^Ä|Ä Ä~^Ä åÄæ^Ä @æ^Ä Äç & Ä Ä@Ä { ] æ ^Ä  
V@•^Ä @æ^Ä^!^•^} ç!æç, }^!• @ Ä Ä@Ä { ] æ Äå åÄ@äÄ|æ^Ä^!^•^} ç! @æç ç^ç!•Ä  
à|äç^ÄÄ

[!â^!•Áç^!^âæÁ Á^^\Á dââæ Á | [ -ãËZ | Áe d { æ^âÁæãã \* Á^•c\ { •Ë^&ě•^Á -Á@ãÁ  
•^•c\ { æãÁ æ | ^Ë@Áæãã \* Á^~^ } & Á^^â•Á Á^Á ] ^&ããâÁ^ Á@ãÁ^ç^ [ ] ^!•Á^ { | ^Áç^ } Á  
â^ã } ã \* Á@Á@ { Ë^!æãã \* Á^~^ } & Á@•Áç^!^ Á æ^Áæ \* ^Á^! { Á } & Áæ^Áç^ ^Ë @&Á ^æ • Á  
à^ Áæ âÁ@ | áÁ | ^ç^! Ë Á } & Áç^!^ Á æ [ •^& ] áÁ | Áã @Ë^~^ } & Á!æãã \* Áæ [ !ã@ •Ë^Á  
!^~ | Ë [

•••{ Á ã ã ã ^•Á { [ ç ] •Á @ [ ~ \* @ ~ Á @ Á ç ç ç \* Á ! [ & •• Ë ] • ~ ! ^•Á @ ç ç ã ã & ã | ã ^ Á Á ç ç ç ^ á Á  
ç @ [ ~ \* @ ç [ | ç ç ^ Á ç \ ^ ç ] } á ç ç } • Ë ç } á Á ç [ , Á • Á ç ç ç ç ç ^ ç ] • ã ç } & Ë Á

V @ Á ç @ | Á ç ç ç ç ç ^ Á - Á ç \* [ | ç ç ç ç ç ç ç \* Á ç ^ | Á @ { ç ç ç ç ç ^ • Á Á @ Á ç ç ç ç ç ç ç ç ç ç • Á @ Á

•ç ;

Financial Time Series Forecasting with Machine Learning Techniques: A Survey

Á

QÁ@Á{ ä Á Á • ä \* Á ä @ ^ Á ä } ä \* Á & @ ä ~ ^ • Á Á | ^ ä ä d & Á ä ^ d [ ç ^ { ^ } • Ä  
Financial Time Series Forecasting with Machine Learning Techniques: A Survey  
& @ • ä ^ Á ç ^ ç ä , Á Á ^ & ^ } ä ^ ç ^ [ ] { ^ } • Á ~ d Á Á Á ~ ä ä ä } • Á @ Á ~ | ç ^ Á & ç ^ • Ä Ç Á Á @ { Á  
~ • ^ Á Ä ä



HÉT æ&@ ^Š^æ} ā \* Á ^c@ ā•Á

Á

HÉÁ|ā~Á d[ ā~ &ā } Á

Á

Qæ Á~|ā \* Ē} ^Á -Á@Á!^æ•o&[ { ]~c!Á&a} cā•Ē Á@{ æ Á@ d|^Á āÁæ@!Á -ÁcāāāÁ  
ā c||ā^} &Ē Á@ Á æ^!Á@ [ { ]~ā \* Á æ&@ ^!^Á āÁ c||ā^} &~Ē+Ē\•Á@ Áæ [ ~•Á~^•ā } Ā  
%ā Á æ&@ ^•Á@ \Ñ+Á) āĒĒ ^ÁeÁ@ { æ Á c||ā } qÁ [ , Á@Ē • , ^!Á Á@ Á~^•ā } Ē~ á  
çāāā



$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j \beta_j^2$

$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j \beta_j^2$

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j \beta_j^2$$

Á

Á

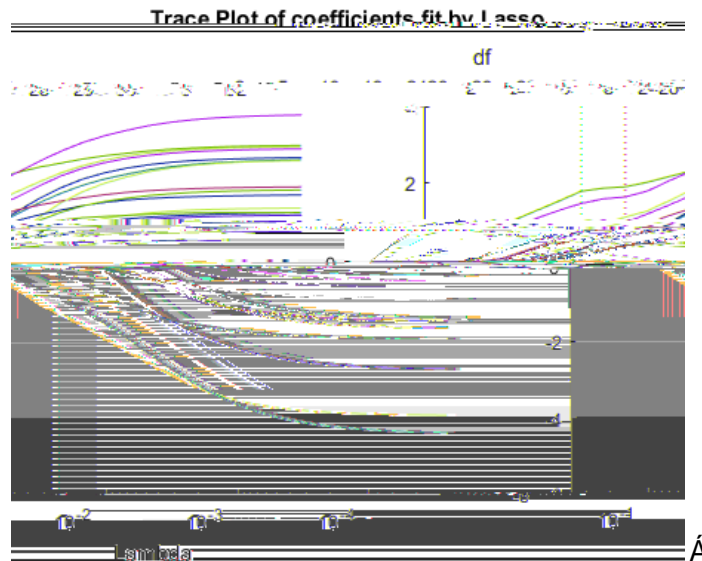
$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j |\beta_j|$

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j |\beta_j|$$

Á

Á

$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j |\beta_j|$

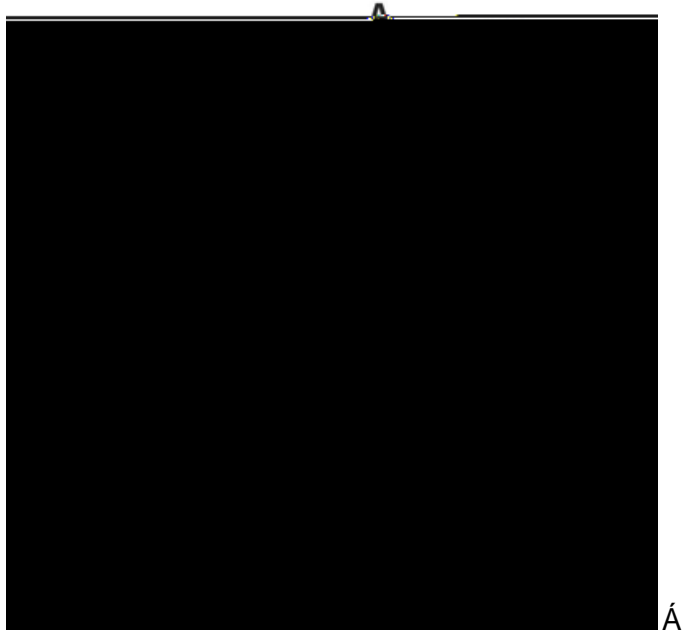


Á

$\sum_{i=1}^N (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 + \lambda \sum_j |\beta_j|$



P[, ^ç!Éã^] Á^Á ã@ ã ^ Áæ^ Á ç) á•Á Á ç!-ã@ á@!^! Á•Á& |æ Á  
ã Á -} ÁæÁ•Á@



Á

øã~!^Á KÖ Á cæ ]|^Á -ÜUÔ&~!ç^Áæ)ã!ü Á]ã æ!c@^@|ãÁ

Á

ÜUÔ&~!ç^Á}Á^}^!æ!Á^!ã!Á &{ ]æ^Á^!+!{ æ &•Á&[••Áã^!^}ó&æ•ã!•Ë^Á  
&{ ]æã \*Á&@æ•ã!ç^ÁVÔÁç^Áæ}ã!Á&~!ç^ÁD!-ü ÜUÔ&~!ç^ÁÉÓ~!ç^Ác@Áæ^É^Á^!Á^!c@Á  
ÜUÔ&~!ç^ÁÁã







| ÈÚ!^á&ç } Á [ á^|KQ áã ä~ æÁ ] | [ æ&@Á

Á

| ÈÁ^c@ á [ | \* ^ Á

Á

V@Áá•á ^c@ áÁ Á^ç^ [ | ÁÁ d & Á |æ^Á!^á&ç } Á [ á^|Á Á @Á ^Á&ç|áÁ Á áã ä~ æÁ  
æ ] | [ æ&@Á @Á ^á • Á@Á@Á [ á^|Á • Á@ d |æ^Á!^ç | { æ & Á - ÁÁ d & Á ^|Á Á |^á&ç Á  
~ ç |^Á |æ^Á [ ç { ^ } • ÈV@Á^á Á@Á [ | á \* ÁÁQ, Á@Á d & Á@ d |æ^Á [ ç • Á Á Èá Á  
, á ä

I EGÖææÁ

Á

V@ÁææÁ ^Á•^ÁÁ Á ^àÁ&æ ^áÁ[ { ÄæQ[ ÁQæ æ &Ë @æQæ } ææ•Áæb•c'áÁ&[•q\*Á  
]!æ^Á[!Áq!Á@Áq &•Á ÁÛBÚÁ ∈Á[ { Áæ ÁGÆF! Á Á'áÁÆGÆF! ËY ^ÁæÁ[ óÁ[ Á'!c@!Áæ&Á  
à^ææ•^Á!æ•Á [!^Ácæ ÁÁ^æ•Á!áÁÁá^|Á Á^Á!^|çæ c'Áæb•c'áÁ&[•q\*Á!æ^ÁÁ@ÁæÁ  
&[•q\*Á!æË @æQæ Á@Áæc'áæq\*Á!æ^Á!^Á æ\^c&[•^•ÁæÁ Á { Éæab



Á	Š[ * ā āŪ^*!^••ā } Á			Üā^*^Š[ * ā āŪ^*!^••ā } Á		
V@^•@ áÁ	VÚÁ	VÞÁ	VÜÁ	VÚÁ	VÞÁ	VÜÁ
€Ě Á	€Ě €€ġĚ Ĩ ĠÁ	€Ě FFI ġĚ Ě FDÁ	€Ě Ě Ĩ ġĚ Ě GFDÁ	€Ě €HġĚ Ĩ EDÁ	€Ě Ě Ĩ ġĚ Ĩ EDÁ	€Ě Ě Ě ġĚ Ĩ ĠÁ
€Ě Ĩ Á	€Ě FJġĚ Ĩ Ĩ DÁ	€Ě Ě Ĩ ġĚ Ĩ Ĩ DÁ	€Ě F Ĩ ġĚ Ĩ Ĩ DÁ	€Ě Ĩ Ĩ ġĚ Ĩ Ĩ DÁ	€Ě J Ĩ ġĚ Ĩ EDÁ	€Ě Ġ Ĩ ġĚ Ĩ FDÁ

Í ËÚ!^â&ç } Á [ â^|Á^&ç :Á ] : [ æ&@Á

Á

Í ÈÁ^ç@ â [ | \* ^ Á

Á

V@ Á^á -@ Á^&ç :Á ] : [ æ&@ Á Á , Á~!Á [ â^|Á Á [\ ÁÁá \*^!Á &

Ø[{ Á@·^ÁãÁ [â^·Ëÿ~!ÁææÁ)áÁ [Á)·^ { à^Ë ^Á ãÁ æ Á@Á ] Á^!-!{ ã\*Á }^·Á  
ç Áæá c·cÁ } Á^æÁ~ ðË Ë æ ]|^ÁææÁ Á@Á^cÁ^&cÁ } ËÁ

Á

Á

í ËÖæ

Í ÈÄÛ^~ |◦Á

Á

Í ÈÈÁí^ ^Ûæ^Á

Á

Ùã äæÁí Á@Áä ] | [ æ&ÖÁ @Á | ^çã ~ •Á^&çã } ÈÄ ^Á ] | äÁ @Á äææ ^öä ç Ä €Á ^!& } ö! ää ä \* Á  
ä ä Á €Á ^!& } ö! • ç \* ÈÛä &Á ää ä \* Á !!! | Á ^ä • Á [ çä \* Á @ } Ä ] | { ^ } ç \* Á @ Á

Á	V <sup>˘</sup> ^ Á [ • ãã ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Á ^ * ãã ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Á ãã



æ Á | | , • Á Á @ Á | ä ä æ Á æ Á Ö æ Á • Á | ^ ä æ Á ] Æ @ Á ä æ Á [ ä | Á æ Á • Á @ Á | ^ ä æ Á } Æ ~ ö Á @ Á  
 [ | ä ä æ Á [ ä | Á | ^ ä æ Á • Á [ , } Æ @ Á ä æ Á [ ä | Á } | Á æ Á • Á @ Á æ Á | ^ ä æ Á } Á Á @ Á | : ä ä æ Á Á Á  
 ] | ^ ä æ Á \* Á Á ^ \* æ Á ^ Á c | } Á ä } Á Á Á @ Á | ä ä æ Á [ ä | Á c & ^ ä • Á @ Á | c ä æ Á • @ | ä Á | { Á @ Á  
 Ü Ü Ö & | ç ^ Æ

Á

Á	V ^ Á   • ä æ Á	V ^ Á • ^ * æ Á	V ^ Á Ü æ Á
W ä æ Á	€ È J I J ä È I G D Á	€ È € H ä È I G D Á	€ È Í F H ä È Í Í D Á
Ö   ^ * ^ Á	€ È Í J I ä È I Í Í D Á	€ È Í Í I ä È I Í F D Á	€ È G F € ä È H Í D Á
Q +   { æ } Á & @ [   ^ * ^ Á	€ È F F I ä È I G D Á	€ È € Í I ä È I J I D Á	€ È € J I ä È I H Í D Á

Á ä | ^ Á | ç | ä ^ Á | ^ Á æ Á • Á Á æ Á Ö æ Á • Á ä @ Ü Ü Ö ä æ • ä Á } Á ä ^ | ^ } ö ^ & | • Á

Á

V @ Á | ^ Á ^ \* æ Á Á æ Á • Á ] | : ç ^ Á | ä @ ^ Á • ä \* Á @ Á [ È c ] Á | Æ | ç ~ \* @ Á ^ Á | ä ç ^ Á @ Á  
 ä ] | : ç { ^ } ö æ Á [ ö ^ Á ä } ä ä æ Á Æ Á Á [ [ ä | Á Á ^ Á [ Á ä } • Á Á ç | ä \* Æ  
 Þ ^ ç Æ Á | [ \ Á Á @ Á | ^ Á æ Á • Á | { Á } } ä \* Á @ Á [ Á ] • ^ { ä | Á ^ ç ä • Æ æ Æ Ü






P[, ^ç^!Ë[ { ^Á Á@Á^ Áæ^ Á ã@Ë çç^ Áæ^ Á@Á ÁËFÁæ } [ cÁ^b&Á@Á^ ||Á@] [ c@•ã ÁæÁ  
FÁ Áã ããææ &^Áç^|ËË [ Ë@ÁË^•cÁç ] -ã{ Á^!Á!^çç^ •Áã äã \* Á@ÁÛXT Áæ äÁæ çç^ Áóæ^ Á  
@ç^ Á^c^!Á ] •ã^Á!^ããç } •Á@ËFÁ [ , ) •ã^Ëã &^Á@Á^ Á^ Á^\* æç^ Áæ^ Á^ [ { Á [ cÁ çç^ Áæ äÁ  
ã { { æç } Á &@ [ [ ^ Á^ Áç! • ÁçÁ Á^ Áã^!^ } c@ç Áæ ä [ { Á^ Á^•ã \* ËÁ

0ËË      ä

Á	V <sup>˘</sup> ^ Á [ • ää ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Á ^ * ää ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Ä ä ^ Á
Wäc Á	€Á	€Á	€Á
Ö} ^ i * ^ Á	€Á	€Á	€Á
Q f ! { ää } Á ^ & @ [   [ * ^ Á	€Á	€Á	€Á

Á ä | ^ Á i ä ä | a f ! • Á • á ^ • | • Ä - Ü ä ä [ { Ä ` à • ^ á • ä \* Á ää ^ Á ä ä ^ Á ä @ Ü U Ô Ä ä ä • ä Á

Á

Á	V <sup>˘</sup> ^ Á [ • ää ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Á ^ * ää ^ Á	V <sup>˘</sup> ^ Ä ä ^ Á





Ĥ ĒĀ æ\^cŪā ~|æ[!Á

Á

Y^ſ^ç^[] ſæ æ\^cŪā ~|æ[!Á Ā[! [çæ^ſ} Ā} çā[ ] { ^} cŪ @!^ſ@ſ!æā \* Ā dæ^\* ā•Ā  
&ç ſ^ſ•cāĒ@ſā ~|æ[!Á•^•Ā^çĒ [! \Áç & Ā!æ•Ē} āſ @!æ ſāā ] |āā ſ^!•ā} Ā Ā^çĀ  
{ æ\ā



Î ÈÁÛ ðË -ÈÛæ ] | ^Šãç ^ÁÛã ~ | æã } Á

Á

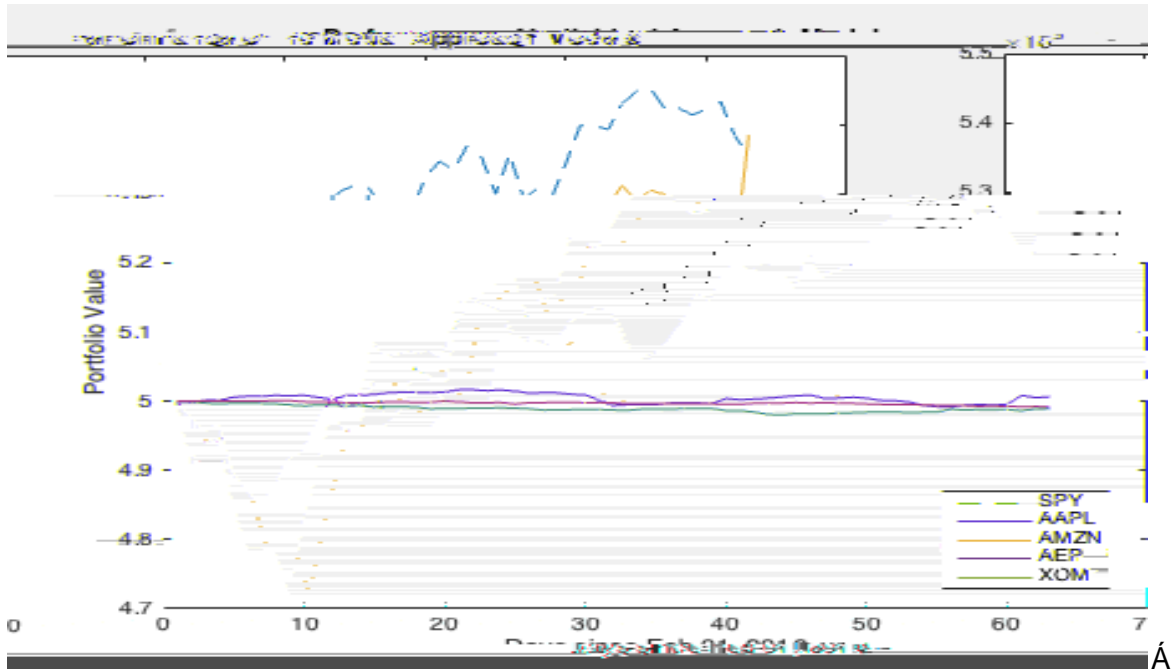
Î ÈÈÁÛ @æ ] ^ÁÛæã Á

Á

ÁÛÁÛ | á | ÁÛ Á ^æ ~ | ^Áã dæ ^ \* ç Á | ÷ | { æ & È [ \ ã \* Áæ ð • ó @ Á ç | æ ç Á ç | } • Á @ Á  
• dæ ^ ^ Á ^ } | æ • Á Á [ ó ] [ ~ \* @ Á ^ Á ^ á Á Á | ÷ | { æ & Á ^æ ~ | ^ Á @ æ & } • ã | • Á @ Á  
& } • ã ç } & Á Á @ Á ç | } • Á ^ } | æ á Á ^ Á dæ ^ È Á ç | æ Á Á @æ ] ^ ç Á J I Á | ã ç ç Á ç | ã ç á ã  
P ^ Á ç d [ á & á Á @ Á @æ ] ^ ÁÛæã Á @æ ç Á ç ^æ ~ | ^ Á | Á ç & | æ ç \* Á ã \ È æ ð • ç á Á ç | } È V @ Á  
Ù @æ ] ^ Á æ ç Á ~ ç Á ^ ç Á Á [ | ç | ç Á ç | } Á ç ~ • Á ã \ È ^ Á æ Á ç á Á ç ã ^ á Á Á ç ç á ç á Á ç ç ç } Á  
[ - Á [ | ç | ç Á ç | } È

V @ Á @æ ] ^ ÁÛæã Á Á @ Á ç ^ | æ ^ Á ç | } Á ç } ^ á Á Á ç &

Í ÈÇÀ àãã` aÁE ] | [ æ&@  
 Á



æ~!^Á kV@^Á [ ] @Á` æ-È æ ] ^Áã ~|æã} Á~ |ø Á|/áãã` aÁE ] | [ æ&@ [ á^•Á  
 Á

Á	ÙÚÝÁ	œóúÁ	œf zPÁ	ÝUT Á	œóúÁ
Ù@] ^Á	œí H Á	œí H HÁ	œí Fí HÁ	œí í H Á	œí í JÁ

Vaà^ÁœÁÙ@] ^Áæã Á-Áã^Á| \*ã çÁ^!^•ã} Áæã \*Á} Áã-^!^} ó d & Á  
 Á

Uc@!ÁÆ æ[] È^•c{ •Á@Á!ã^•Á} ÁÆ] |^ËYUT Á) áÁDÚÁ} á^!| ^!-!| { Á@Á æ\^Á  
ã Á@Á~



ĩ ěô [ } & | ~ • ā } Á

Á

Q Á @ Á @









